



Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Unand.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Unand.

# **PENGARUH TEKANAN DAN SUHU PADA PROSES KOMPREGNASI TERHADAP SIFAT FISIK DAN SIFAT MEKANIS BATANG KELAPA SAWIT**

## **TESIS**



**YUWARSYAH ABIDIN  
01210089**

**PROGRAM PASCASARJANA  
UNIVERSITAS ANDALAS  
PADANG  
2009**

# **Pengaruh Tekanan dan Suhu pada Proses Kompregnasi terhadap Sifat Fisik dan Sifat Mekanis Batang Kelapa Sawit**

**Oleh : Yuwarsyah Abidin**

**( Di bawah bimbingan Anwar Kasim dan Santosa )**

## **RINGKASAN**

Selama ini pemanfaatan kelapa sawit hanya terbatas pada buah untuk memproduksi minyak beserta segala turunannya, serta pada tingkat tertentu pemanfaatan dari sabut, tandan dan pelepah. Bagian batang yang mempunyai masa terbesar dari pohon kelapa sawit belum dimanfaatkan secara komersial. Hal ini disebabkan banyak anggapan bahwa kualitas batang kelapa sawit sangat rendah .

Bila kayu batang sawit dapat dimanfaatkan, selain akan mengurangi tekanan terhadap hutan, juga akan bermanfaat dalam pengembangan perkebunan sawit yang mengarah pada zero waste. Masalah-masalah yang ada khususnya peremajaan yang menghasilkan limbah dan polusi pembakaran dapat diatasi. Secara bersamaan kelangkaan kayu untuk bahan bangunan dan furniture dapat di atasi. Dengan demikian pemanfaatan kayu batang kelapa sawit ini akan dapat menanggulangi permasalahan sub-sektor perkebunan dan sub sektor kehutanan secara sekaligus.

Salah satu alternatif yang strategis untuk perbaikan kualitas kayu sawit dalam upaya memperkecil kelemahannya adalah memberikan proses kompregnasi. Kompregnasi sebagai proses pemasukan bahan kimia ke dalam kayu dengan menggunakan tekanan. Bahan kimia yang mampu berpenetrasi ke dalam struktur kayu, dalam hal ini phenol formaldehida.

Tujuan penelitian ini adalah menemukan tekanan dan suhu yang tepat pada proses kompregnasi serta mengetahui interaksi kedua perlakuan tersebut sehingga diperoleh kualitas kayu batang sawit yang memenuhi standar untuk dijadikan bahan bangunan.

Hasil penelitian terhadap sifat fisik menunjukan faktor suhu dari berbagai perlakuan pengaruhnya tidak begitu berbeda nyata, sedangkan tekanan memberikan pengaruh berbeda nyata pada setiap perlakuan. Pada sifat mekanis, faktor suhu dan tekanan memberikan pengaruh yang berbeda nyata pada setiap perlakuan. Dari kedua perlakuan ini adanya interaksi terhadap sifat fisik dan sifat mekanis yaitu pada susut volume, keteguhan lentur statis (MOR) dan keuletan dari kayu batang sawit.

Faktor suhu dan tekanan pada proses kompregnasi mampu meningkatkan kualitas kelas kuat kayu Keteguhan Lentur Statis (MOR) dan Berat Jenis (BJ) kayu sawit masuk kelas II. Tekanan dan suhu untuk pengujian sifat fisik dan mekanis kayu batang sawit kombinasi perlakuan terbaik pada tekanan 11 kg/cm<sup>2</sup> dengan suhu 80 °C (KA = 10,4267 %, BJ = 0,6211 gr/cm<sup>3</sup>, PB = 36,4703 %, S = 8,0799 %, MOR = 523 kg/cm<sup>2</sup>, H = 73,2163 kg/cm<sup>2</sup>, T = 35,2331 kg/cm<sup>3</sup>).



**PENGARUH TEKANAN DAN SUHU PADA PROSES  
KOMPREGNASI TERHADAP  
SIFAT FISIK DAN SIFAT MEKANIS  
BATANG KELAPA SAWIT**



**PROGRAM PASCASARJANA  
UNIVERSITAS ANDALAS  
2009**



**Judul Penelitian : Pengaruh Tekanan dan Suhu pada Proses Kompregnasi  
terhadap Sifat Fisik dan Sifat Mekanis Batang Kelapa Sawit**

**Nama Mahasiswa : Yuwarsyah Abidin**

**Nomor Pokok : 0121009**

**Program Studi : Teknologi Industri Pertanian**

**Tesis ini telah diuji dan dipertahankan di depan sidang panitia ujian akhir  
Magister Pertanian pada Program Pascasarjana Universitas Andalas dan  
dinyatakan lulus pada tanggal 17 Juli 2009**

**Menyetujui :**

**1. Komisi Pembimbing**

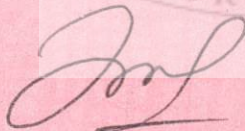


**Prof. Dr. Ir. Anwar Kasim**  
Ketua



**Prof. Dr. Ir. Santosa, MP**  
Anggota

**2. Ketua Program Studi  
Teknologi Industri Pertanian**



**Prof. Dr. Ir. Anwar Kasim**  
NIP. 130 816 274

**3. Direktur Program Pascasarjana**



**Prof. Dr. Ir. Novirman Djaruman, MSc**  
NIP. 130 819552



## PERNYATAAN KEASLIAN TESIS

Dengan ini menyatakan bahwa tesis yang saya tulis dengan judul “PENGARUH TEKANAN DAN SUHU PADA PROSES KOMPREGNASI TERHADAP SIFAT FISIK DAN SIFAT MEKANIS BATANG KELAPA SAWIT” adalah hasil karya saya sendiri dan bukan ciplakan karya orang lain, kecuali kutipan yang sumbernya dicantumkan.

Jika di kemudian hari pernyataan yang saya buat ini ternyata tidak benar maka status kelulusan dan gelar yang saya peroleh menjadi batal dengan sendirinya.

Padang, Juni 2009

Yang membuat pernyataan,

YUWARSYAH ABIDIN  
BP. 01210 009



## RIWAYAT HIDUP

Penulis dilahirkan pada tanggal 27 Desember 1963 di Padang, sebagai anak kelima dari Ayah Zainal Abidin dan Ibu Yusiah. Penulis menamatkan SD pada tahun 1975, SMP pada tahun 1979, dan SMA pada tahun 1982 di Padang. Penulis memperoleh gelar Sarjana Pertanian pada Program Studi Teknologi Hasil Pertanian Fakultas Pertanian Universitas Andalas tahun 1987. Pada tahun 2001 penulis melanjutkan pendidikan pada Program Pascasarjana Universitas Andalas di Padang.





## KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT atas rahmat –Nya yang telah diberikan, sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian dan penulisan Tesis ini.

Tesis penelitian berjudul **Pengaruh Tekanan dan Suhu Pada Proses Kompregnasi Terhadap Sifat Fisik dan Sifat Mekanis Batang Kelapa Sawit**, sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar pada Program Pascasarjana Universitas Andalas Padang.

Pada kesempatan ini penulis ingin menyampaikan ucapan terimakasih dan penghargaan yang setinggi-tingginya kepada semua pihak yang telah membantu hingga tulisan ini dapat diselesaikan terutama kepada :

1. Bapak Prof. DR .Ir. Anwar Kasim selaku Pembimbing I dan Ketua Program Studi Teknologi Industri Pertanian Program Pascasarjana Universitas Andalas yang telah membantu memberikan bimbingan dan pengarahan.
2. Bapak Prof. DR .Ir. Santosa, MP selaku pembimbing II yang telah membantu memberikan bimbingan dan pengarahan.
3. Bapak Direktur Program Pascasarjana Universitas Andalas.
4. Bapak Ir. Safril, MP selaku Ka. UPT Perawatan dan Perbaikan Politeknik Universitas Andalas yang telah memberi prasarana dalam pembuatan alat kompregnasi.
5. Bapak Ir. Syahrial Syam, MS selaku Ka Badan Ketahanan Pangan Provinsi Sumatera Barat.
6. Bapak dan Ibu penanggung jawab Laboratorium Teknologi Hasil Pertanian.

7. Ayah, Ibu, Istri dan Anak- Anakku serta Keluarga yang setiap saat berdoa memberikan dorongan semangat perhatian dalam pembuatan tesis ini.
8. Teman-teman yang tidak dapat disebutkan satu persatu yang banyak membantu dalam penelitian ini.

Mudah-mudahan segala perhatian dan bantuan kepada penulis dari kesemuanya menjadi amal baik dan mendapat balasan yang setimpal dari Allah Yang Maha Kuasa.

Penulis menyadari bahwa dalam penulisan tesis ini masih terdapat kekurangan, namun demikian penulis berharap dapat memberikan manfaat adanya.

Semoga Allah Yang Maha Kuasa senantiasa memberikan rahmat dan serta karunia-Nya.

Padang, Mei 2009

Penulis



## DAFTAR ISI

	<i>Halaman</i>
<b>KATA PENGANTAR.....</b>	i
<b>DAFTAR ISI.....</b>	ii
<b>DAFTAR TABEL.....</b>	iii
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	iv
<b>DAFTAR LAMPIRAN.....</b>	v
 <b>I. PENDAHULUAN.....</b>	 1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	5
1.3 Tujuan Penelitian.....	6
1.4 Kegunaan dan Manfaat Penelitian.....	6
 <b>II. TINJAUAN PUSTAKA.....</b>	 7
2.1 Sejarah Perkembangan Kelapa Sawit.....	7
2.2 Potensi Kelapa Sawit.....	8
2.3 Sifat Umum Kayu Batang Sawit.....	10
2.4 Sifat Fisik.....	12
2.5 Sifat Mekanik.....	12
2.6 Kompregnasi.....	14
2.7 Phenol Formaldehida.....	16
2.8 Beberapa Pemanfaatan Kayu Sawit.....	17



<b>III. BAHAN DAN METODE.....</b>	<b>19</b>
3.1 Tempat dan Waktu Penelitian.....	19
3.2 Bahan dan Alat.....	19
3.3 Pelaksanaan Penelitian.....	20
<b>IV. HASIL DAN PEMBAHASAN.....</b>	<b>28</b>
4.1 Sifat Fisik .....	28
4.2 Sifat Mekanik .....	35
<b>V. KESIMPULAN .....</b>	<b>41</b>
5.1 Kesimpulan .....	41
5.2 Saran .....	41
<b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>	<b>43</b>
<b>LAMPIRAN.....</b>	<b>46</b>



## DAFTAR TABEL

<i>Nomor</i>	<i>Halaman</i>
1. Penyebaran Luas Areal Perkebunan Kelapa Sawit berdasarkan Kepulauan di Indonesia.....	8
2. Luas Perkebunan Kelapa Sawit di Sumatera Barat.....	9
3. Klasifikasi Kelas Kuat Kayu Berdasarkan Keteguhan Tekan Sejajar, Berat Jenis, dan Modulus Patah ( MOR).....	14
4.. Nilai Rata – Rata Kadar Air Batang Kayu Sawit Terkompregnasi .....	28
5. Nilai Rata - Rata Peningkatan Berat Jenis Batang Kayu Sawit Terkompregnasi .....	30
6.. Nilai Rata - Rata Penambahan Berat Batang Kayu Sawit Terkompregnasi .....	32
7. Nilai Rata - Rata Susut Volume Batang Kayu Sawit Terkompregnasi .....	33
8. Nilai Rata - Rata Modulus Patang (MOR) Batang Kayu Sawit Terkompregnasi .....	35
9. Nilai Rata - Rata Kekerasan (Tekan Tegak Lurus Serat) Batang Kayu Sawit Terkompregnasi .....	37
10. Nilai Rata - Rata Keuletan Batang Kayu Sawit Terkompregnasi.....	39

## DAFTAR GAMBAR

<i>Nomor</i>	<i>Halaman</i>
1 Spesimen Uji Kekerasan.....	25
2 Grafik Kadar Air Batang Kelapa Sawit.....	29
3 Grafik Berat Jenis Batang Kelapa Sawit.....	31
4 Grafik Penambahan Berat Batang Kelapa Sawit.....	32
5 Grafik Susut Volume Batang Kelapa Sawit.....	34
6 Grafik Modulus Patah Batang Kelapa Sawit.....	36
7 Grafik Kekerasan Batang Kelapa Sawit.....	38
8 Grafik Keuletan Batang Kelapa Sawit.....	40





## DAFTAR LAMPIRAN

<i>Nomor</i>	<i>Halaman</i>
1. Jadwal Kegiatan .....	46
2. Tabung Kompregnasi.....	47
3. Rekapitulasi Data Pengujian Sifat Fisik .....	48
4. Rekapitulasi Data Pengujian Sifat Mekanis.....	50
5. Dokumentasi Penelitian .....	52
6. Uji Statistik .....	58



## I. PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Di Indonesia terdapat banyak perkebunan kelapa sawit baik milik pemerintah, milik swasta ataupun milik rakyat. Kelapa sawit merupakan tanaman rakyat dan primadona subsektor perkebunan. Sejak sepuluh tahun terakhir ini pemerintah mempercepat perluasan tanaman kelapa sawit untuk meningkatkan devisa disektor non migas. Sampai akhir tahun 2004, luas perkebunan kelapa sawit di Indonesia telah mencapai 5.447.563 ha (Deptan, 2005). Di Sumatera Barat, lahan perkebunan kelapa sawit 246.437 ha tersebar di Kabupaten Pasaman, Agam, Sawahlunto Sijunjung, Solok, Pesisir Salatan, dan Kabupaten Lima Puluh Kota (BPS, 2005).

Pertambahan luas kebun kelapa sawit dari tahun ke tahun laju pertumbuhan 8,5 % per tahun. Dengan demikian luas areal yang harus diremajakan akan semakin meningkat seiring dengan peningkatan luas areal tanaman. Ini berarti potensi kayu gergajian dari batang kelapa sawit akan terus tersedia dan meningkat dalam jumlah yang sangat besar, karena peremajaan pohon kelapa sawit dilakukan terus menerus sepanjang tahun. Menurut Prayitno dan Darnoko (1994), berdasarkan asumsi bahwa luas areal yang diremajakan sama dengan pertambahan luas areal kelapa sawit 25 tahun sebelumnya, maka pada tahun 1992-2007 terdapat sekitar 1,7 juta pohon yang di tebang per tahun.



Selama ini pemanfaatan kelapa sawit hanya terbatas pada buah untuk memproduksi minyak beserta segala turunannya, serta pada tingkat tertentu pemanfaatan dari sabut, tandan dan pelepah. Bagian batang yang mempunyai masa terbesar dari pohon kelapa sawit belum dimanfaatkan secara komersial. Hal ini disebabkan banyak anggapan bahwa selain pengolahannya tidak efisien, kualitas batang kelapa sawit sangat rendah dan tidak cocok untuk bahan bangunan maupun furniture.

Di sisi lain kebutuhan kayu tiap tahun untuk bahan bangunan maupun perabotan rumah tangga meningkat terus bersamaan dengan peningkatan jumlah penduduk dan pendapatan rata-rata rumah tangga. dan diperkirakan mencapai 86,6 juta m<sup>3</sup> per tahun. Sementara ketersediaan kayu bulat hanya sebanyak 29,9 juta m<sup>3</sup> per tahun, sehingga terjadi kekurangan pasokan kayu sebanyak 56,7 juta m<sup>3</sup> atau 65 % (Mulyadi, 2000). Dengan demikian akan terjadi kekurangan kayu bulat dalam jumlah yang sangat besar pada saat sekarang dan masa yang akan datang, yang akan berakibat langsung atau tidak langsung terhadap kelestarian hutan.

Bila kayu batang sawit dapat dimanfaatkan, selain akan mengurangi tekanan terhadap hutan, juga akan bermanfaat dalam pengembangan perkebunan sawit yang mengarah pada *zero waste*. Masalah-masalah yang ada khususnya peremajaan yang menghasilkan limbah dan polusi pembakaran dapat diatasi. Secara bersamaan kelangkaan kayu untuk bahan bangunan dan furniture dapat diatasi. Dengan demikian pemanfaatan kayu batang kelapa sawit ini akan dapat menaggulangi permasalahan sub-sektor perkebunan dan sub sektor kehutanan secara sekaligus (Bakar *et al.*, 1999, 2000).



Untuk bahan konstruksi, kayu dituntut memiliki sifat mekanis yang memenuhi persyaratan struktural dan keamanan. Selain itu kayu yang digunakan sebaiknya memiliki penyusutan yang kecil, tidak mudah pecah, seratnya lurus, ringan dan cacatnya minimum. Diharapkan kayu batang kelapa sawit memenuhi persyaratan tersebut sehingga dapat diunggulkan sebagai bahan pengisi kekurangan pasokan kayu.

Berdasarkan hasil-hasil penelitian yang telah dilakukan (Bakar *et al.*, 1998; Rosdiana, 1998; Hidayat, 1998) diketahui kayu batang kelapa sawit berat jenis, sifat fisis dan sifat mekanis tergolong rendah dibandingkan dengan jenis kayu lainnya. Agar kayu batang kelapa sawit dapat digunakan sebagai bahan bangunan dan furniture maka harus dilakukan perbaikan kualitas dari kayu batang kelapa sawit antara lain dengan proses kompregnasi. Kompregnasi berguna untuk meningkatkan sifat fisik dan mekanis kayu. Senyawa kimia yang digunakan dalam proses kompregnasi adalah resin phenol formaldehida. Dalam proses kompregnasi resin phenol formaldehida yang larut air mampu menembus dinding sel dan mengganti posisi air dalam kayu. Resin terpolimerisasi dan dimatangkan dengan panas untuk membentuk resin tidak larut air didalam struktur kayu.

Kompregnasi merupakan upaya perbaikan kualitas kayu dengan memasukkan bahan kimia melalui bantuan tekanan dan suhu dalam tangki tertutup. Proses kompregnasi akan lebih efektif dilakukan dalam suhu dan tekanan yang tinggi. Suhu dan tekanan yang dimaksudkan untuk membantu mendorong masuknya (penetrasi) bahan kimia dalam kayu sehingga menghasilkan stabilitas dimensi yang lebih tinggi. Memasukkan bahan kimia dengan memberikan tekanan

mempunyai beberapa keuntungan proses relatif singkat, dapat dikontrol, lebih efisien, penetrasi lebih dalam dan merata. Penetrasi terjadi bila struktur kayu mengembang bila pereaksi yang berpotensi tidak mampu memekarkan atau mengembangkan bahan kayu, maka diperlukan katalis. Jika pereaksi dan katalis tidak mampu mengembangkan kayu, kopelarut perlu ditambahkan ke dalam sistem reaksi.

Stamm (1962) proses kompregnasi merupakan penggantian posisi (*replacement*) satu tingkat dengan cara mengisi kayu dengan resin yang akan membantu larutan dengan molekul berukuran cukup kecil yang menembus dinding sel. Dalam hal ini secara nyata dapat meningkatkan daya tahan listrik dan daya tahan terhadap organisme perusak kayu, meningkatkan keteguhan tekan, tetapi keteguhan pukulnya berkurang. Sama halnya dalam proses pengempaan, Sutigno (1988) juga menyatakan bahwa pengempaan memakai perekat phenol formaldehida dilakukan pada suhu  $130^{\circ}\text{C} - 150^{\circ}\text{C}$ , sedangkan besaran tekanan diberikan pada proses pengawetan kayu penetrasi bahan pengawet antara 3,5 - 14  $\text{kg/cm}^2$  (Henry dalam Nicholas, 1973).

Bertitik tolak dari permasalahan di atas maka dilakukan penelitian untuk mengetahui karakterisasi sifat kayu batang kelapa sawit sebagai bahan bangunan. Pada kesempatan ini juga diteliti pengaruh suhu dan tekanan terhadap sifat fisik dan sifat mekanis batang kelapa sawit yang dihasilkan.



## 1.2 Perumusan Masalah

Bahan bangunan perumahan dan perabotan rumah tangga, kayu dituntut memiliki sifat-sifat fisis, mekanis, keawetan dan pemesinan yang memenuhi persyaratan. Dalam hal ini kayu harus memiliki dimensi yang stabil, tidak mudah pecah, serat lurus, kekuatannya dan keawetan tinggi, serta mempunyai kualitas pemesinan yang baik. Seperti diuraikan di atas, bahwa kayu batang kelapa sawit memiliki berat jenis, sifat fisis dan sifat mekanis yang relatif lebih rendah dengan jenis lainnya. Untuk itu diperlukan perlakuan khusus sehingga kayu batang kelapa sawit dapat memenuhi karakteristik, agar dapat digunakan sebagai bahan alternatif bagi pasokan kayu, khususnya untuk bahan bangunan dan furniture.

Untuk mengetahui kemungkinan dan mengupayakan pemanfaatan limbah batang kelapa sawit sebagai bahan bangunan dan furniture maka dilakukan penelitian tentang mutu kayu batang kelapa sawit dengan perlakuan tekanan dalam berbagai temperatur suhu.

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui karakteristik kayu batang kelapa sawit, sifat dasar kayu batang kelapa sawit yang dihasilkan serta interaksi suhu dan besarnya tekanan kompresi yang tepat dalam pemanfaatan kayu batang kelapa sawit.

Dengan perlakuan kompresi memberikan zat resin phenol formaldehida, maka diduga akan menambah kelas kuat kayu batang sawit dari aspek berat jenis, juga adanya interaksi antara tekanan dan suhu terhadap sifat fisik dan mekanis kayu batang sawit.



### 1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menemukan suhu dan tekanan yang tepat serta mengetahui interaksi kedua perlakuan tersebut sehingga diperoleh kayu batang sawit yang memenuhi standar untuk dijadikan bahan bangunan.

### 1.4 Kegunaan dan Manfaat Penelitian

Dari hasil penelitian ini dapat diperoleh sifat fisik dan mekanis dari batang kelapa sawit sehingga dapat digunakan sebagai acuan awal dalam upaya peningkatan pendayagunaan kayu batang kelapa sawit sebagai bahan bangunan.

Dengan termanaftakannya kayu batang kelapa sawit maka diharapkan :

1. Kebutuhan kayu semakin dapat dipenuhi.
2. Nilai tambah dan efisiensi pemanfaatan sumber daya batang kelapa sawit dapat ditingkatkan
3. Dampak lingkungan sebagai akibat dari peracunan dan pembakaran sewaktu peremajaan tanaman tua kelapa sawit dapat dihilangkan.
4. Citra industri hulu kelapa sawit semakin dapat diperbaiki.
5. Kelestarian hutan alam dapat ditingkatkan.

## II. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Sejarah Perkembangan Kelapa Sawit

Di Indonesia kelapa sawit pertama kali di tanam pada tahun 1848 di Kebun Raya Bogor sebanyak 4 pohon, masing-masing 2 pohon berasal dari Reunion dan 2 batang berasal dari Amsterdam. Biji yang berasal dari keempat pohon tersebut kemudian disebarakan kedaerah-daerah lain Indonesia. Tempat asal kelapa sawit tidak diketahui secara pasti, namun ada yang berpendapat bahwa pohon tersebut berasal dari benua Amerika dan ada pula yang beranggapan berasal dari benua Afrika (Purseglove, 1972).

Daerah pertama perkebunan kelapa sawit pantai timur Sumatera Timur adalah Pulau Raja di Asahan dan Sungai Liput di Aceh Utara dengan ketinggian 10-500 meter dari permukaan laut dan dibangun oleh Hellet pada tahun 1910 (Rutgers, 1922 dalam Siregar, 1988).

Perhatian terhadap perkebunan kelapa sawit terus bertambah dan berkembang kedaerah-daerah lain. Pada tahun 1939 tercatat luas perkebunan kelapa sawit sekitar 17.000 ha di pulau Sumatera dan sekitar 5.000 ha di pulau Jawa (Sutejo, 1969). Daerah yang menjanjikan perkembangan pesat di masa yang akan datang yaitu Pulau Kalimantan dan Papua, walaupun masih tergantung dari pembangunan infrastruktur yang dilakukan oleh Pemerintah Daerah (Deptan, 2005).

## 2.2 Potensi Kelapa Sawit

Pengusahaan perkebunan kelapa sawit di Indonesia telah berkembang dengan pesat dengan luas 133.298 ha pada tahun 1970, meningkat menjadi 5.447.563 ha pada tahun 2004 (Deptan, 2005). Menurut Prayitno dan Darnoko (1994), berdasarkan asumsi bahwa luas areal yang diremajakan sama dengan pertambahan luas areal kelapa sawit 25 tahun sebelumnya, maka pada tahun 1992-2007 terdapat sekitar 1,7 juta pohon yang di tebang per tahun.

Dilihat dari penyebarannya, perkebunan kelapa sawit dapat di temui di 16 propinsi dimana daerah Sumatera merupakan areal terbesar. Data mengenai penyebaran perkebunan sawit di wilayah Indonesia dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Penyebaran Luas Areal Perkebunan Kelapa Sawit Berdasarkan Kepulauan

No.	Daerah Kepulauan	Luas (ha)
1.	Sumatera	4.190.850
2.	Jawa	25.790
3.	Kalimantan	1.089.553
4.	Sulawesi	128.498
5.	Papua	52.872

Sumber : Pusat Data dan Informasi Pertanian, Departemen Pertanian, 2005



Di Sumatera Barat lahan perkebunan kelapa sawit sudah mencapai 246.437 ha tersebar di beberapa kabupaten yang terdiri dari Perkebunan Besar Swasta Nasional (PBSN), Perkebunan Rakyat (PR), dan Perkebunan Inti Rakyat (PIR) yang secara rinci dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Luas Perkebunan Kelapa Sawit di Sumatera Barat

No.	Kabupaten	Luas Lahan Perkebunan (ha)			Jumlah
		PBS	PIR	PR	
1.	Pasaman	43.960	20.402	29.000	93.362
2.	Swl/Sijunjung		70.138	9.678	79.816
3.	Agam	14.618	3.863	9.100	27.581
4.	Solok	21.015		353	21.368
5.	Pesisir Selatan	6.437	5.407	11.511	23.355
6.	Lima Puluh Kota	965			965
7.	Jumlah	86.985	99.810	959.642	246.437

Sumber : BPS SUMBAR, 2005

Setelah berumur 25 tahun atau lebih tanaman kelapa sawit yang tidak produktif dan harus diremajakan. Sejauh ini dari hasil peremajaan tersebut terutama batang tidak dimanfaatkan. Limbah yang volume sangat besar ini biasanya dimusnakan dengan cara diracuni dan dibakar. Sementara ini pembakaran pada setiap kegiatan *Land Clearing* sudah dilarang sejak tahun 1998. Akibatnya limbah peremajaan harus ditumpuk menggunung dan menimbulkan berbagai dampak lingkungan yang berpengaruh pada tanaman muda dan lingkungan sekitar.

Untuk meningkatkan nilai tambah dari kelapa sawit, maka batang kelapa sawit dan sekaligus menghindari berbagai dampak lingkungan, limbah batang kelapa sawit diharapkan dapat dimanfaatkan sebagai alternatif dalam penggunaan kayu bahan bangunan ( Bakar *et al.*, 1999).

### 2.3 Sifat Umum Kayu Batang Kelapa Sawit

Menurut sistem klasifikasi yang ada, kelapa sawit (*Elaeis guineensis* Jacq) merupakan tanaman yang tergolong Kingdom Plantae, Divisi Spermatophyta, Subdivisi Angiospermae, Kelas Monocotyledoneae, Famili Arecaceae(Palmae), Subfamili Cocoidae, Genus Elaeis, Species *Elaeis guineensis* Jacq (Tomlinson, 1961).

Kelapa sawit berdasarkan ketebalan kulit biji dapat dibagi menjadi 3 varietas yaitu: Pesifera, Dura, dan Tenera. Pesifera adalah varietas kelapa sawit dengan buah tanpa kulit biji. Pada varietas Tenera kulit biji berukuran tipis (0,5 - 0,8 mm), sedangkan pada varietas Dura kulit biji berukuran tebal (2,0 – 8,0 mm). Tenera merupakan hasil persilangan antara varietas Dura dan varietas Pesifera.

Seperti halnya kayu pada umumnya, kelapa sawit mempunyai jaringan meristem, korteks, xylem, phloem, dan jaringan parenkim. Pada kelapa sawit jaringan meristem tersembunyi dalam daun mahkota yang terakhir dan bertanggung jawab atas proses penebalan batang. Pertumbuhan monokotil agak berbeda dengan dikotil. Menurut Kilman dan Lim (1985) dan Prayitno (1991), hal tersebut karena pada tanaman monokotil tidak dijumpai adanya meristem lateral pada batang pokok, sehingga pertumbuhan kayu ditentukan oleh meristem apikal. Hal ini dapat dilihat dari hasil pertumbuhan kayu tanaman monokotil yang tidak



mengalami pembesaran diameter batang selama hidupnya dan diameter batang maksimum dicapai pada saat meristem apikal sedang memberikan pengaruhnya pada suatu ketinggian batang.

Dari segi struktur anatomi, kayu palmae mempunyai sifat yang lebih dekat dengan kayu daun lebar, hal ini tercermin oleh adanya jaringan pembuluh sel saiuran pada struktur kayu dari batang kelapa sawit yang mempunyai sel pembuluh seperti pada kayu daun lebar dari pada trakeida pada daun jarum (Prayitno, 1991).

Batang kelapa sawit berbentuk silindris dan sampai umur 12 tahun batangnya masih tertutup oleh sisa pelepah, sehingga memberi kesan lebih besar. Umumnya kelapa sawit tidak bercabang, tetapi bila tunas bagian atas rusak dapat menyebabkan terbentuknya cabang dan bentuk batang kelapa sawit ini meruncing dari pangkal sampai ujung batang. Ukuran diameter kelapa sawit berkisar 30-60 cm tergantung kondisi lingkungan, sedangkan pertumbuhan memanjang berkisar 30-60 cm pertahun. Kelapa sawit yang dibudidayakan bisa mencapai tinggi 15-18 m, namun demikian kelapa sawit yang tumbuh liar tingginya bisa mencapai 30 m.

Kelapa sawit banyak mengandung pati yang merupakan sumber makanan bagi perusak biologis seperti rayap (*Coptotermes curvignatus* Holmg, kumbang (*Orycte rhinoceros* L), cacing (*Mahasena corbetti* Tams), belalang (*Valnga niriocomis* Brunn) dan terutama cendawan *Gonoderma* seperti *G. applanatum*, *G. Cochlear*, *G. laccatum* dan *G. tropicatum* (Anonim, 1959). Bagian kelapa sawit di atas ketinggian 3 meter dapat lapuk secara alami dalam waktu 1 tahun setelah penebangan.



## 2.4 Sifat Fisik

Sifat dasar kayu kelapa sawit sangat berbeda dengan kayu lainnya dalam hal berat jenis, kadar air dan kembang susut. Variasi berat jenis relatif besar yaitu antara 0.28 – 0.75. Hal ini disebabkan variasi dan struktur anatomi batang kelapa sawit sangat besar dan bagian pusat didominasi oleh parenkim dan bagian luar dekat kulit didominasi oleh sel pembuluh yang berdinding tebal (Prayitno, 1995). Kadar air tertinggi tercatat 266 % (Jusoh *et al.*, 1991). Variasi ini cenderung turun dari bagian atas ke bagian bawah dan dari empulur ke arah tepi.

Sebagai kayu, kayu dari batang kelapa sawit juga mempunyai higroskopis. Sifat higroskopis ini sangat mempengaruhi kembang susut kayu. Menurut Brown *et al.*; (1952), besarnya penyusutan kayu pada umumnya pada arah radial berkisar antara 2,0 – 8,5 %, pada arah tangensial 4,2-14,0 % dan penyusutan volumetris berkisar antara 7,0 – 21,0 %. Hasil penelitian Prayitno (1995) menunjukkan bahwa sifat penyusutan radial dan tangensial kayu sawit bervariasi dalam batang, yaitu semakin meningkat dari bawah ke atas dan dari luar ke dalam.

## 2.5 Sifat Mekanik

Sifat mekanik kayu merupakan ukuran kemampuan kayu untuk menahan gaya luar yang bekerja terhadapnya. Sifat ini sangat berhubungan dengan berat jenis dan kerapatan. Kekuatan dan kekakuan kayu naik apabila berat jenisnya naik. Berat jenis suatu contoh uji akan meningkat jika kandungan air yang ada di dalam kayu berkurang ( Haygreen dan Bowyer, 1993 ).

Kekuatan kayu memegang peranan penting dalam penggunaan kayu untuk bangunan, perkakas dan penggunaan lain. Studi mengenai sifat fisik dan mekanik pada dasarnya membahas hubungan antara tegangan dengan perubahan bentuk atau regangan serta faktor-faktor yang mempengaruhinya (Dumanauw, 1994). Sifat mekanik yang penting diantaranya adalah keteguhan lentur statis, keteguhan tekan sejajar serat, keteguhan geser sejajar serat, keteguhan belah, keuletan dan kekerasan.

Informasi tentang sifat mekanik kayu kelapa sawit masih sangat terbatas. Sadikin (1986) menyatakan bahwa sifat mekanik kayu kelapa sawit akan menurun dengan meningkatnya ketinggian dan semakin dekat dengan empulur. Hasil pendugaan Kelas Kuat kayu kelapa sawit berkisar antara Kelas Kuat III dan IV. Sampai ketinggian  $2/3$ , Kelas Kuat III terdapat pada bagian tepi, Kelas Kuat IV pada bagian tengah dan Kelas Kuat V terdapat pada bagian pusat batang ( Bakar *et al*; 1999). Menurut kriteria Den Berger ( 1923 ) dalam Yap ( 1984 ) yang menentukan kelas kayu adalah keteguhan Tekan Sejajar Serat, Modulus Patah (MOR) dan Berat Jenis kayu. Klasifikasi Den Berger tersebut terdapat pada Tabel 3.





Tabel 3. Klasifikasi Kelas Kuat Kayu Berdasarkan Keteguhan Tekan Sejajar, Berat Jenis, dan Modulus Patah ( MOR )

Kelas Kuat	BJ Berat Kering Udara	Tekan Sejajar Serat (kg/cm <sup>2</sup> )	Modulus Patah (MOR) (kg/cm <sup>2</sup> )
I	> 0,90	> 1100	> 650
II	0,90-0,60	1100-725	650-425
III	0,60-0,40	725-500	425-300
IV	0,40-0,30	500-360	300-215
V	< 0,30	< 360	< 215

Sumber : Den Berger *dalam* Yap (1984)

## 2.6 Kompregnasi

Perbaikan kualitas kayu sangat penting dilakukan karena sifat kayu yang mengembang atau menyusut akibat perubahan udara sekitar. Selain itu kembang susut kayu tidak sama antara arah longitudinal, radial dan tangensial sehingga dapat mengganggu pemakaian (Kollman dan Cote, 1968). Salah satu perlakuan yang dapat menstabilkan dimensi kayu adalah dengan memberikan zat pengisi (bulking agent) ke dalam struktur kayu dengan teknik impregnasi atau kompregnasi. Hampir semua resin dapat digunakan sebagai bahan pengisi. Bulking agent yang paling baik secara komersial dari golongan resin sintetik adalah phenol formaldehida yang daya larutnya dalam air tinggi, bersifat termoset dengan berat molekul rendah.

Sebagai kayu solid kayu batang kelapa sawit mempunyai empat kelemahan, yaitu stabilitas dimensi, kekuatan, keawetan dan sifat permesinan (Bakar *et al*; 1998 dan 1999). Diyakini bahwa perlakuan kompregnasi/ impregnasi pemasukan bahan kimia tertentu ke dalam kayu, dapat memperbaiki kelemahan-



kelemahan tersebut. Namun pemasukan bahan kimia dengan proses rendaman (impregnasi) pada kayu batang kelapa sawit tidak berhasil memperbaiki kelemahan-kelemahan kayu sawit tersebut, pemasukan bahan kimia dengan metoda tekanan (kompregnasi) dipandang lebih cocok (Bakar *et al.*, 1999).

Kompregnasi dapat diartikan sebagai proses pemasukan bahan kimia ke dalam kayu dengan menggunakan tekanan. Stamn (1962) menjelaskan bahwa proses kompregnasi merupakan proses penggantian posisi (replacement) satu tingkat, yaitu dengan cara mengisi kayu dengan resin dalam larutan dengan molekul berukuran cukup kecil yang menembus dinding sel. Proses ini secara nyata dapat meningkatkan daya tahan listrik dan daya tahan terhadap organisme perusak kayu, meningkatkan keteguhan tekan, tetapi keteguhan pukulnya berkurang.

Perlakuan kompregnasi akan efektif pada kayu dengan ketebalan tidak lebih dari 3 inci (Rowell dan Konkol, 1987). Dalam proses kompregnasi resin phenol formaldehida yang larut air mampu menembus dinding sel dan mengganti posisi air dalam kayu. Resin tersebut terpolimerisasi dan dimatangkan dengan panas untuk membentuk resin tidak larut air di dalam struktur kayu.

Persyaratan bahan kimia yang dapat digunakan untuk proses kompregnasi adalah mampu berpenetrasi ke dalam struktur kayu. Achmadi (1990) menyatakan bahwa aksesibilitas pereaksi menuju tapak reaksi adalah pertimbangan utama. Untuk meningkatkan aksesibilitas menuju tapak reaksi, bahan kimia harus berpenetrasi ke dalam struktur kayu. Penetrasi terjadi bila struktur kayu mengembang. Bila pereaksi yang berpotensi tidak mampu memekarkan atau

mengembangkan bahan kayu, maka diperlukan katalis. Jika pereaksi dan katalis tidak mampu mengembangkan kayu, ko-pelarut perlu ditambahkan ke dalam sistem reaksi.

## 2.7 Phenol Formaldehida

Resin phenol formaldehida adalah molekul berbobot molekul rendah yang terbentuk dari phenol dan formaldehida, dan termasuk kedalam perekat termoset. Beberapa sifat yang dimiliki oleh perekat termoset yaitu kekuatan kohesif dari resin termoset melebihi kekuatan tarik kayu, memiliki kepolaran cukup tinggi dan viskositas cukup rendah untuk berpenetrasi kedalam pori-pori mikro dalam kayu yang secara mekanis bertindak sebagai jangkar. Gugus polar mampu membentuk ikatan hidrogen yang kuat dengan gugus hidroksil kayu. Jadi ada interaksi dwikutub yang kuat selain gaya sekunder (gaya van der Waals). Ikatan kimia primer dapat terbentuk melalui reaksi kimia antara gugus fungsi dalam kayu dan gugus fungsi dalam resin (Achmadi, 1990).

Resin ini dapat masuk dan mengembangkan dinding sel kayu, dan setelah dimatangkan dengan panas akan menghasilkan stabilitas dimensi yang tinggi. Polimerisasi resin ini dikendalikan dalam kondisi asam dan basa (pH), kondisi lainnya juga yang penting adalah nisbah molar phenol dan formaldehida.

Resol adalah resin phenolik yang diproduksi di bawah kondisi basa dengan formaldehida ( $\text{HCHO}$ ) yang lebih tinggi dibandingkan molaritas phenolnya. Reaksi awalnya adalah substitusi gugus metilol ( $-\text{CHO}_2\text{-OH}$ ) pada phenol. Selanjutnya, karena lebih dari satu mol formaldehida tersedia untuk satu mol phenol, maka produk yang mempunyai gugus dua atau tiga gugus metilol juga



terbentuk. Nisbah substitusi *orto:para* bergantung pada jenis katalis dan pH, yaitu menurun dari 1,2 pada pH 8, menjadi 0,38 pada pH 13,0 (Achmadi, 1990).

Pembentukan awal dari phenol tersubstitusi metilol ini kemudian dilanjutkan dengan reaksi lain, yaitu reaksi dengan molekul sesamanya, atau dengan phenol yang belum bereaksi. Produknya adalah campuran molekul dengan ukuran dan derajat percabangan yang berbeda-beda. Dalam produknya, inti phenol saling berhubungan melalui ikatan metilen,  $-CH_2-$ , atau jembatan metilen eter,  $-CH_2O-CH_2-$ . Resol memperlihatkan tahap pertengahan dalam kemajuan reaksi antara phenol dan formaldehida.

## 2.8 Beberapa Pemanfaatan Kayu Sawit

Haslett (1990) menyatakan bahwa pengembangan teknik untuk memproduksi kayu gergajian dari kayu batang kelapa sawit tidak membuat banyak kemajuan, pengeringan yang berlebihan menurunkan berat jenis bahagian tengah kayu dan secara konsekwen didapatkan kembali penurunan kualitas dari kayu gergajian menjadi penggunaan secara komersil, dengan demikian harapan pemanfaatan kayu gergajian dengan tujuan komersil tidak memungkinkan, hanya 3 – 4 m yang dapat digergaji, kelemahan kayu gergajian kelapa sawit yang lainnya adalah teksturnya kasar, memiliki kerentanan yang tinggi terhadap pembusukan, dan serangga, serta memperlihatkan variasi yang ekstrim dalam kekuatan, tidak menarik dan tidak menjanjikan keuntungan melebihi kayu daun lebar (*hardwood* tradisional atau kayu karet) meskipun biaya produksinya tinggi.

Selanjutnya disimpulkan bahwa dari hasil penelitian upaya mengkonversikan pohon kelapa sawit ke dalam bentuk kayu gergajian berprioritas rendah. Penelitian di Malaysia telah menjelaskan bahwa pemanfaatan yang paling baik dari kayu sawit adalah penggunaan untuk berbagai produk panel, pulp, makanan ternak dan alkohol. Lim dan Khoo (1998) juga menyatakan bahwa kayu batang kelapa sawit lebih cocok untuk produksi komposit dan *pulping*.

Maloney (1996) menyatakan bahwa jenis produk panel terdiri dari : *plywood, blockboard, fibreboard, MDF, particleboard, waferboard, OSB dan ccmply laminated wood panels, moulded products*, produk ikatan inorgnik (cement atau gypsum) dan papan serta produk timber ( *laminated finir lumber, comply lumber, parallel strand lumber, oriented strand lumber dan railroad ties*).





### III. BAHAN DAN METODE

#### 3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Teknologi Hasil Pertanian Universitas Andalas dan untuk pembuatan alat serta pengujian mekanis dilakukan di Laboratorium Politeknik Engineering Padang. Khusus untuk pengujian keuletan dilakukan di Laboratorium Fakultas Teknik Unand. Waktu Pelaksanaan Penelitian dilakukan mulai bulan Oktober 2008 sampai dengan bulan Februari 2009.

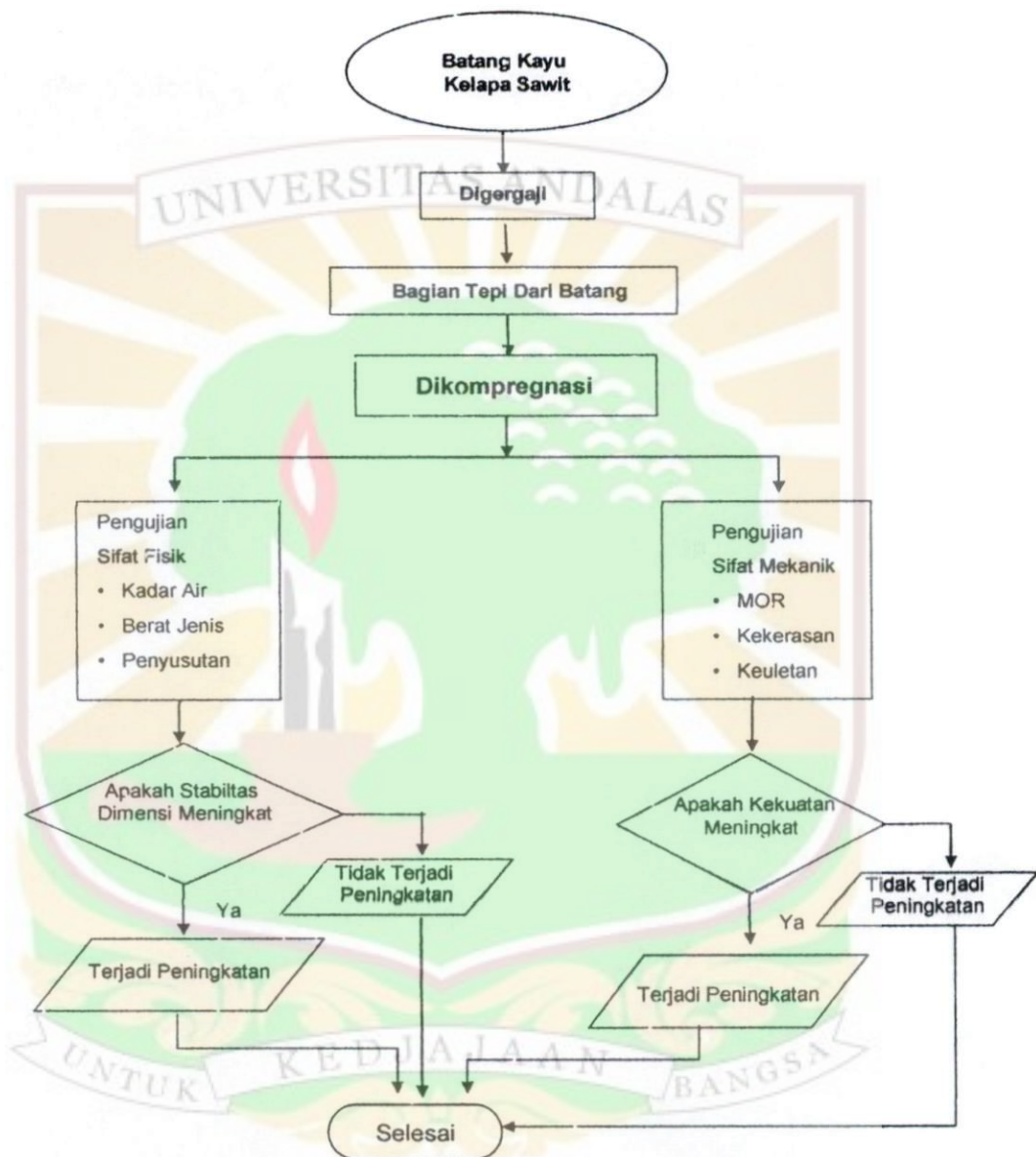
#### 3.2 Bahan dan Alat

Bahan Baku yang dipergunakan dalam penelitian ini adalah sejumlah kayu batang kelapa sawit (*Elaeis guineensis* Jacq) varietas tenera berumur 25-30 tahun berasal dari Kabupaten Pasaman Barat, kompresor, pentil angin, thermocouple, tabung, pressure gauge. Bahan kimia yang digunakan untuk komipregnasi adalah phenol formaldehida (PF) kosentrasi 30 %.

Peralatan yang digunakan adalah: gergaji, mesin pengetam, mesin amplas, timbangan, alat vakum tekan. Caliper, timbangan, 1 unit tabung bertekanan, stopwatch, 1 unit alat uji mekanis dan alat pemanas.

### 3.3 Pelaksanaan Penelitian

#### Flow Chart Penelitian





### 3.3.1 Sifat Fisik Kayu Batang Kelapa Sawit

Pengujian sifat fisis meliputi kadar air, berat jenis, penambahan berat dan penyusutan dari kayu batang sawit terkompregnasi. Pengujian sifat fisik dilakukan sebagai berikut :

#### 3.3.1.1 Persiapan Contoh Uji

Bagian kayu yang digunakan untuk pembuatan contoh uji adalah papan bagian tepi dari batang kayu sawit. Kondisi papan diusahakan seragam, baik dalam kadar air maupun dalam berat jenis. Bahan contoh uji tersebut, selanjutnya disebut contoh uji induk (4 cm x 4 cm x 60 cm), kemudian dikeringkan sampai kadar air 15 % dalam kering angin. Kayu sawit yang sudah kering selanjutnya dikompregnasi dengan resin Phenol Formaldehida (PF) konsentrasi 30 % dari berbagai tekanan dan suhu. Untuk mencegah kompregnan PF masuk dari arah longitudinal, semua ujung contoh uji induk ditutup dengan cat.

#### 3.3.1.2 Proses Kompregnasi

Sebelum dikompregnasi, kayu batang kelapa sawit ditimbang berat awalnya ( $B_0$ ) kemudian disiapkan larutan phenol formaldehida 30 % (kompregnan). Selanjutnya kayu sawit dimasukkan ke dalam tangki dan diikuti dengan larutan kompregnan sampai seluruh permukaan kayu sawit terendam. Setelah ditutup rapat, tangki diberikan tekanan sebesar 5, 8, 11 kg/cm<sup>2</sup> selama 60 menit dan dengan perlakuan suhu 40 °C, 60 °C, 80 °C, 100 °C, sehingga seluruhnya berjumlah dua belas perlakuan. Seluruh perlakuan dilakukan ulangan sebanyak tiga kali dengan demikian terdapat tiga puluh enam kali pembuatan kayu kompregnasi.

Setelah proses kompregnasi selesai, kayu sawit ditiriskan dan dikeringkan. Pengeringan dilakukan sampai kadar air kering udara 15% dalam kering angin. Setelah kering, kayu sawit terkompregnasi ditimbang (**B1**) untuk mengetahui pertambahan berat (weight persen gain, WPG) sebagai indikator banyaknya resin PF masuk ke dalam kayu yang dihitung dengan rumus berikut (Anwar Kasim, 2001).

$$PB = \frac{B1 - Bo}{Bo} \times 100 \% \quad (1)$$

dengan :

- PB = Penambahan Berat (kehilangan PF dalam larutan)
- Bo = Berat kayu sebelum dikompregnasi (gram)
- B1 = Berat kayu setelah dikompregnasi (gram)

### 3.3.1.3 Pembuatan Contoh Uji dan Pengujian

Contoh uji diambil dari contoh uji induk terkompregnasi. Ukuran contoh uji disesuaikan dengan standar yang mengacu pada *Method of Testing Small Clear Specimen of Timber*, ASTM-D-143-94 dan *British Standar for Testing Small Clear Specimen of Timber*, BS-373, 1957 untuk sifat fisik, mekanik.

### 3.3.1.4 Sifat Fisik

Yang dirnaksud sifat fisik di sini adalah Kadar air, Berat Jenis, Penambahan berat dan Penyusutan, pengujian dilakukan sesudah perlakuan kompregnasi. Contoh uji Kadar air, Berat Jenis, dan Penyusutan dibuat dalam satu contoh uji berukuran 2 cm x 2 cm x 2 cm, kemudian ditimbang beratnya dan diukur volumenya dengan cara pemindahan cairan.



Setelah volumenya diketahui contoh uji dikering tanurkan dengan cara dioven pada suhu  $103 \pm 2$  °C sampai berat konstan, kemudian ditimbang beratnya dan diukur volumenya. Kadar air (KA), Berat Jenis (BJ), dan Penyusutan (S) diperoleh dengan rumus sebagai berikut ( Kasim, 2001)

$$KA = \frac{BA (g) - BKT (g)}{BKT (g)} \times 100 \% \quad (2)$$

dengan:

KA = Kadar Air ( % )

BA = Berat Awal ( g )

BKT= Berat Kering Tanur ( g )

Berat Jenis ditetapkan dengan mengukur persamaan (Kasim, 2001)

$$BJ (g/cm^3) = \frac{BKT (g)}{Volume Awal (cm^3)} \quad (3)$$

dengan:

BJ = Berat Jenis ( g/cm<sup>3</sup> )

BKT = Berat Kering Tanur ( g )

Volume Awal = ( cm<sup>3</sup> )

Penyusutan Volume ditetapkan dengan persamaan (Anwar Kasim, 2001).

$$S = \frac{Volume basah (cm^3) - Volume kering tanur (cm^3)}{Volume basah (cm^3)} \times 100 \% \quad (4)$$

dengan:

S = Penyusutan Volume ( % )

### 3.3.2 Pengujian Sifat Mekanis Kayu Batang Kelapa Sawit

#### 3.3.2.1 Keteguhan Lentur Statis

Alat yang digunakan dalam pengujian ini adalah universal testing machine merk Amsler. Pengujian dilakukan dengan posisi horizontal dan pembebanan (P) dilakukan ditengah - tengah contoh uji.

Dari hasil pengujian ini diperoleh nilai *Modulus of Rufture* (MOR). Besarnya MOR diukur berdasarkan besarnya defleksi yang terbaca pada alat deflektometer pada interval beban 4 kg dan beban maksimum yang diperoleh pada contoh uji mengalami kerusakan. Nilai MOR dihitung dengan rumus ( Donald R. Askeland, 2003 )

$$MOR = \frac{3 PL}{2bh^2} \dots \dots \dots ( 5 )$$

dengan :

P = Beban maksimum sampai contoh uji mengalami kerusakan atau patah (kg)

L = Jarak sangga (cm)

b = Lebar contoh uji (cm)

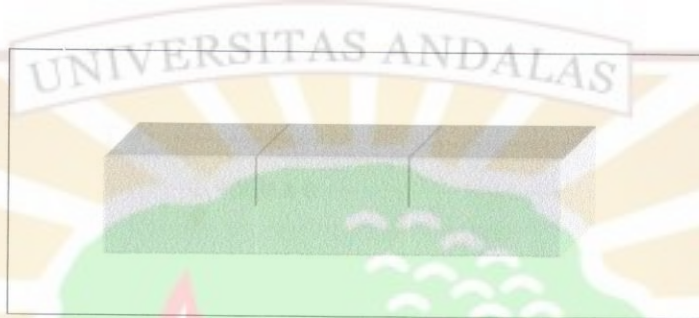
h = Tebal contoh uji (cm)

MOR = *Modulus of Rufture* (kg/cm<sup>2</sup>)



### 3.3.2.2 Kekerasan

Spesimen uji yang digunakan pada pengujian batang kayu kelapa sawit dengan ukuran 4 x 4 x 16 cm, pengujian dilakukan tegak lurus serat seperti Gambar 1.



Gambar 1. Spesimen Uji

Pengujian spesimen dilakukan :

1. Pembebanan dilakukan pada besi untuk membenamkan besi pada kayu sampai berubah bentuk
2. Untuk mengetahui kekuatan tekan tegak lurus serat data hasil pengujian dimasukan dalam penggunaan rumus ( Donald R.Askeland, 2003 ).

$$H = \frac{P}{A} \quad (6)$$

dengan :

- H = Kekerasan ( $\text{kg/cm}^2$ )  
 P = Beban (kg)  
 A = Luas penampang ( $\text{cm}^2$ )

Faktor A. Tekanan kompregnasi yang dibedakan dalam 3 tingkatan  
anak Faktor A yaitu :

$$A 1 = 5 \text{ kg/cm}^2$$

$$A 2 = 8 \text{ kg/cm}^2$$

$$A 3 = 11 \text{ kg/cm}^2$$

Faktor B. Suhu kompregnasi yang dibedakan dalam 4 tingkatan anak

faktor B yaitu:

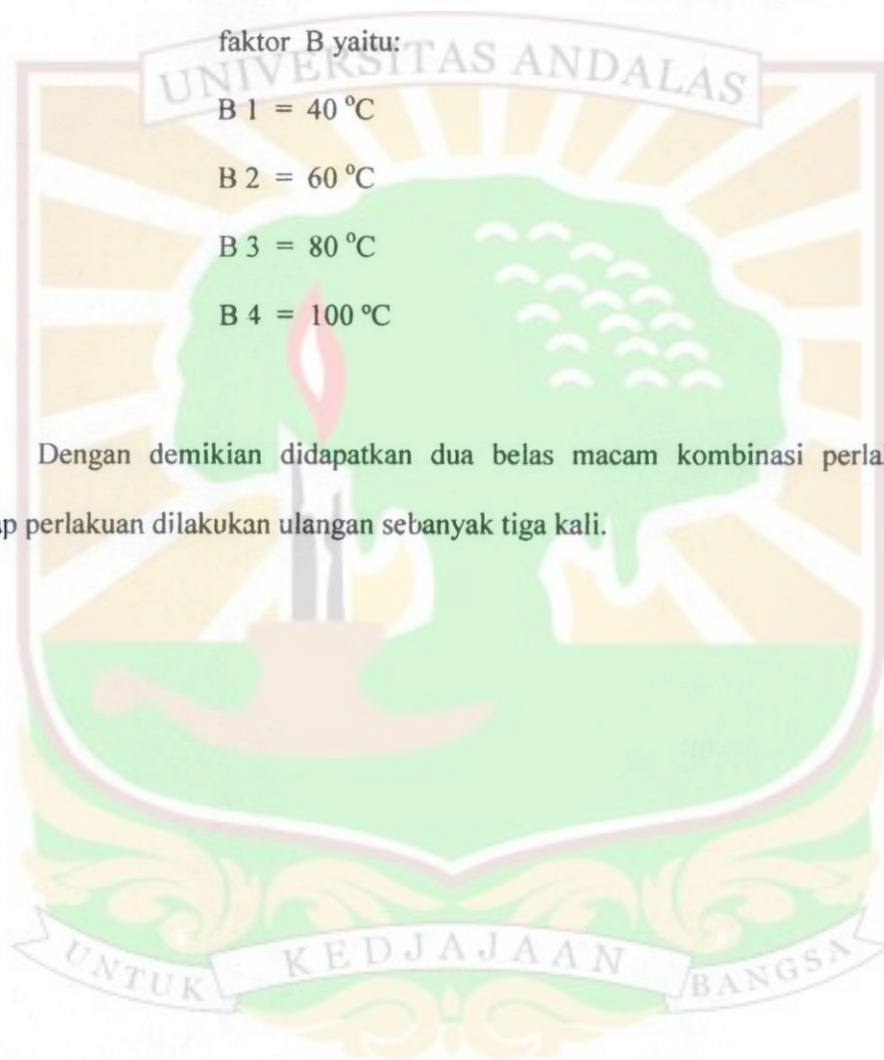
$$B 1 = 40 ^\circ\text{C}$$

$$B 2 = 60 ^\circ\text{C}$$

$$B 3 = 80 ^\circ\text{C}$$

$$B 4 = 100 ^\circ\text{C}$$

Dengan demikian didapatkan dua belas macam kombinasi perlakuan,  
setiap perlakuan dilakukan ulangan sebanyak tiga kali.





## IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Sifat Fisik.

#### 4.1.1 Kadar Air

Kadar air batang kelapa sawit yang telah terkompregnasi mengalami penurunan. Hal ini terjadi diduga karena tingginya kandungan kompregnan pada tekanan dan suhu tinggi, mengakibatkan kemampuan daya serap batang kelapa sawit terhadap air lebih kecil. Kemungkinan jumlah air yang terserap lebih kecil karena kompregnan menggantikan posisi air di dalam batang (Stamm, 1962). Namun yang paling berpengaruh dalam menurunkan kadar air kesetimbangan adalah tekanan. Penurunan kadar air kayu sawit setelah dikompregnasi dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Nilai Rata-Rata Kadar Air Batang Kayu Sawit Terkompregnasi

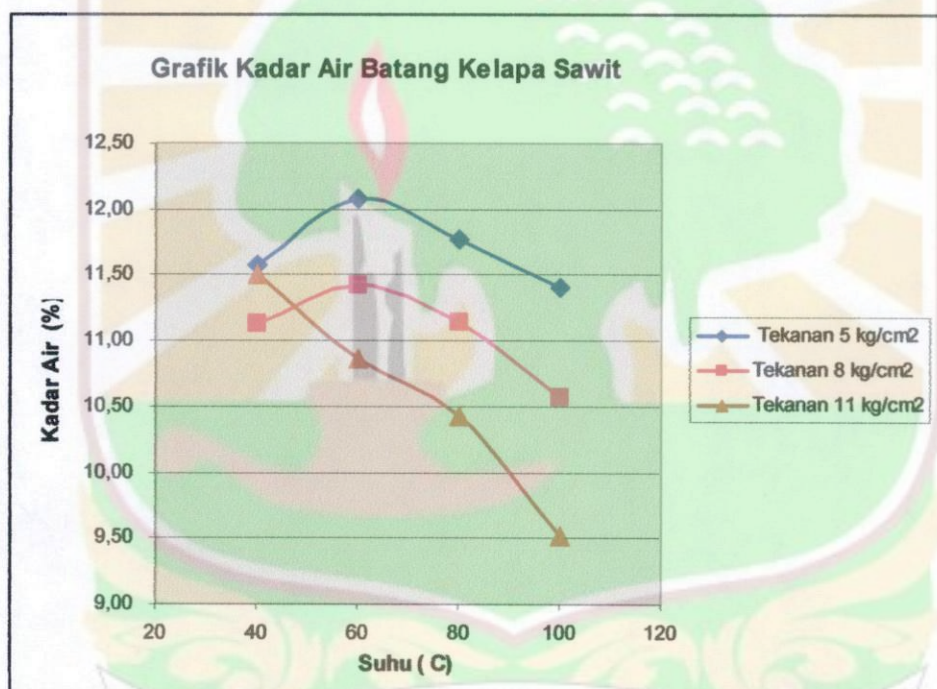
Perlakuan	B1 (%)	B2 (%)	B3 (%)	B4 (%)
A1	11.5726	12.0797	11.7675	11.4041
A2	11.1220	11.4185	11.1425	10.5683
A3	11.5126	10.8598	10.4267	9.5150

Keterangan A: Tekanan ( A1 = 5 kg/cm<sup>2</sup>, A2 = 8 kg/cm<sup>2</sup> dan A3 = 11 kg/cm<sup>2</sup>)

B: Suhu (B1 = 40°C, B2 = 60°C, B3 = 80°C dan B4 = 100°C)

Dari Tabel 4 terlihat bahwa perlakuan A1B1 (tekanan 5 kg/cm<sup>2</sup> dengan suhu 40 °C) setelah dikompregnasi selama 60 menit terdapat kadar air rata-rata sebesar 11.5726%, begitu juga pada perlakuan A3B4 tekanan 11 kg/cm<sup>2</sup> dengan suhu 100 °C terdapat kadar air rata-rata sebesar 9,5150 %. Dari hasil uji statistik (Lampiran 6), faktor suhu dan tekanan mempengaruhi kadar air kayu sawit. Faktor suhu mempunyai pengaruh yang berbeda nyata terhadap kadar air. Sementara faktor tekanan mempunyai pengaruh yang sangat berbeda nyata. Namun ini belum memperlihatkan adanya interaksi antara tekanan dan suhu terhadap penurunan kadar air kayu sawit karena kombinasi suhu dan tekanan tidak berbeda nyata. Tetapi untuk masing-masing

perlakuan, peningkatan tekanan dan peningkatan suhu telah memberikan pengaruh yang berbeda nyata terhadap penurunan kadar air kayu kelapa sawit. Suhu 100 °C memberikan pengaruh yang berbeda nyata dengan suhu 80 °C, 40 °C dan 60 °C yang mempunyai pengaruh yang sama terhadap kadar air kayu sawit. Sementara faktor tekanan 11 kg/cm<sup>2</sup>, 8 kg/cm<sup>2</sup>, dan 5 kg/cm<sup>2</sup> mempunyai pengaruh yang sangat berbeda nyata terhadap kadar air kayu sawit. Oleh karena itu, peningkatan tekanan dan suhu pada proses kompregnansi kayu sawit akan menyebabkan terjadinya penurunan kadar air, hal ini juga dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Grafik Kadar Air Batang Kelapa Sawit

Dari Gambar 2 terlihat bahwa semakin tinggi suhu, maka kadar air dalam batang kelapa sawit semakin berkurang. Kandungan kadar air dalam kayu kelapa sawit mengindikasikan kualitas kayu sawit, semakin kecil maka kadar air kayu sawit semakin baik. Berdasarkan analisis diperoleh rata-rata kadar air terbaik pada suhu 80°C dengan tekanan 11 kg/cm<sup>2</sup>, karena pada suhu mendekati 100 °C kadar air terikat yang ada pada dinding sel kayu ikut berkurang akan merusak kekuatan kayu secara alami.



#### 4.1.2 Berat Jenis

Seiring dengan meningkatnya tekanan dan suhu kompregnasi, maka berat jenis batang kelapa sawit akan meningkat. Hal ini diduga karena pada tekanan dan suhu yang tinggi, maka kompregnan lebih banyak masuk pada kayu sawit. Sejalan dengan penambahan tekanan yang semakin besar dan dimungkinkan kompregnan masuk lebih dalam dengan cara difusi. Pengaruh peningkatan tekanan dan suhu terhadap berat jenis kayu sawit dapat dilihat pada Tabel 5.

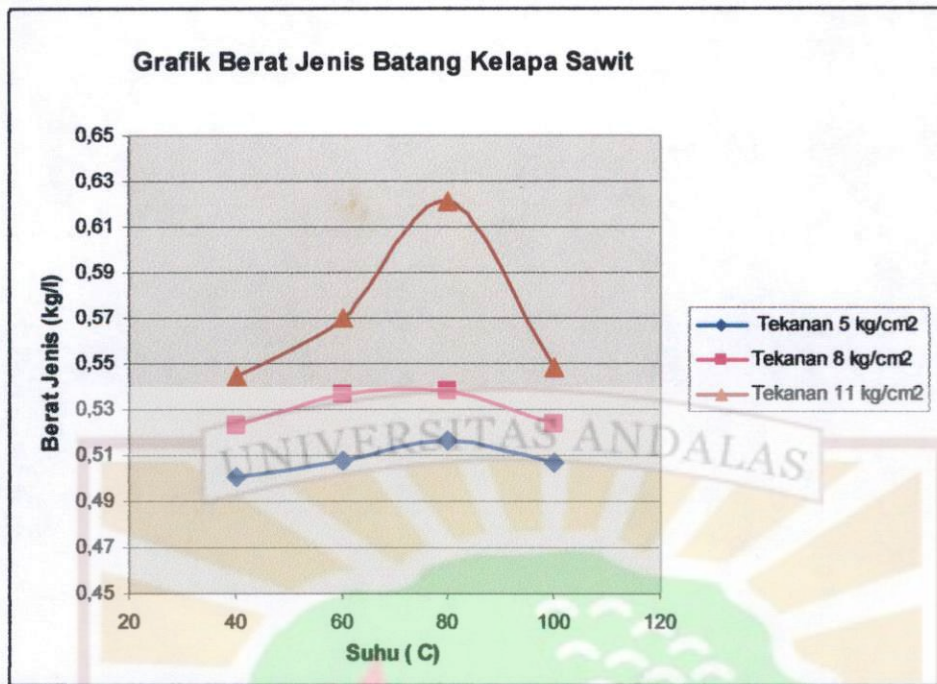
Tabel 5. Nilai Rata – Rata Peningkatan Berat Jenis Kayu Sawit Terkompregnasi

Perlakuan	B1 ( g/cm <sup>3</sup> )	B2 ( g/cm <sup>3</sup> )	B3 ( g/cm <sup>3</sup> )	B4 ( g/cm <sup>3</sup> )
A1	0.5004	0.5074	0.5164	0.5072
A2	0.5229	0.5361	0.5380	0.5233
A3	0.5446	0.5704	0.6211	0.5487

Keterangan A: Tekanan ( A1 = 5 kg/cm<sup>2</sup>, A2 = 8 kg/cm<sup>2</sup> dan A3 = 11 kg/cm<sup>2</sup>)

B: Suhu (B1 = 40°C, B2 = 60°C, B3 = 80°C dan B4 = 100°C)

Semakin tinggi tekanan dan suhu, nilai berat jenis akan meningkat. Pada Tabel 5 terlihat bahwa, tekanan 11 kg/cm<sup>2</sup> dan suhu 80 °C nilai berat jenis sebesar 0,6211 satuan. Namun pada suhu di atas 80 °C akan terjadi penurunan berat jenis. Hal ini diduga terjadi karena pada suhu di atas 80 °C kayu akan kehilangan kekuatannya. Menurut Damanik (2005) kebanyakan sifat –sifat mekanik kayu berkurang apabila kayu tersebut dipanaskan, selama suhu tidak mendekati 100 °C terdapat sedikit saja kehilangan kekuatan yang permanen. Hal ini juga dapat terlihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Grafik Berat Jenis Batang Kelapa Sawit

Dari hasil uji statistik (Lampiran 6), faktor suhu dan tekanan memberikan pengaruh yang tidak berbeda nyata serta kombinasi perlakuan faktor suhu dengan tekanan memberikan pengaruh yang tidak berbeda nyata terhadap berat jenis kayu sawit. Tekanan 5 kg/cm<sup>2</sup> dan 8 kg/cm<sup>2</sup> mempunyai pengaruh yang sama tetapi berbeda nyata dengan tekanan 11 kg/cm<sup>2</sup>. Berdasarkan analisis diperoleh rata-rata berat jenis terbaik pada suhu 80 °C dengan tekanan 11 kg/cm<sup>2</sup>.

#### 4.1.3 Penambahan Berat

Kombinasi faktor tekanan dan suhu kompregnan belum memberikan pengaruh yang nyata terhadap penambahan berat dari kayu sawit. Namun Peningkatan tekanan dan suhu masing-masing perlakuan telah memberikan pengaruh yang nyata terhadap penambahan berat. Hal ini menunjukkan bahwa semakin tingginya tekanan, maka kompregnan yang masuk kedalam batang kelapa sawit lebih banyak. Tekanan akan membesarkan lubang membran noktah pada kayu, dan menambah ukuran lubang



perforasinya yang menyebabkan pergerakan kompregnan lebih mudah menembus ke dalam batang (Mandang, 1975). Penambahan berat dapat dilihat pada Tabel 6.

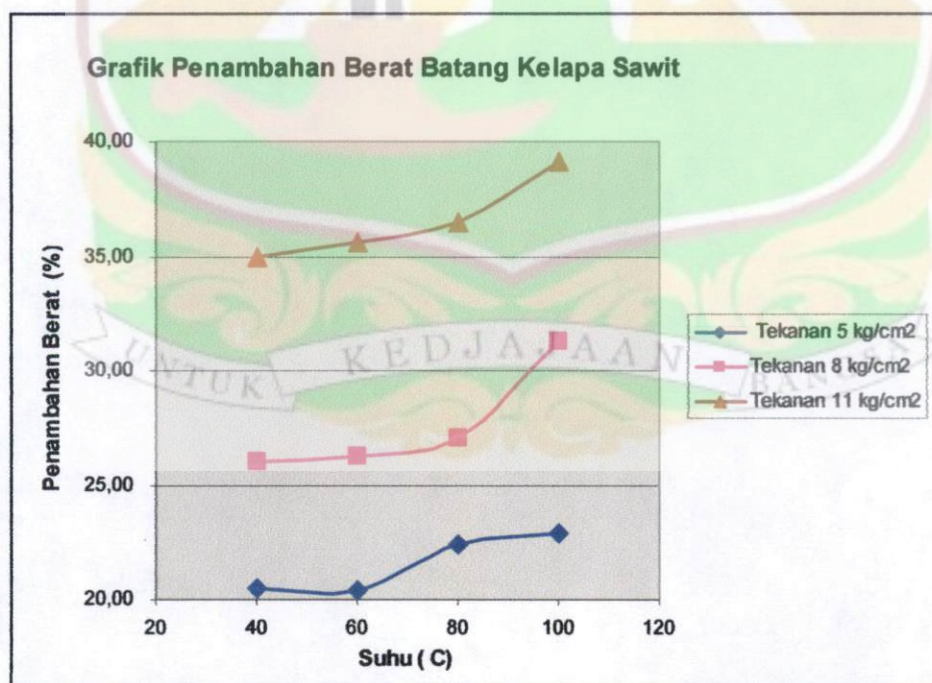
Tabel 6. Nilai Rata-Rata Penambahan Berat Batang Kayu Sawit Terkompregnasi

Perlakuan	B1 (%)	B2 (%)	B3 (%)	B4 (%)
A1	20.5200	20.4060	22.3685	22.8510
A2	25.9713	26.2069	27.0463	31.2621
A3	34.9888	35.6336	36.4703	39.1029

Keterangan A: Tekanan ( A1 = 5 kg/cm<sup>2</sup>, A2 = 8 kg/cm<sup>2</sup> dan A3 = 11 kg/cm<sup>2</sup>)

B: Suhu (B1 = 40°C, B2 = 60°C, B3 = 80°C dan B4 = 100°C)

Hasil pengujian statistik (Lampiran 6), menunjukkan bahwa suhu dan tekanan berpengaruh terhadap penambahan berat. Hal ini dapat dilihat pada suhu tinggi 100 °C. Pada suhu tinggi kadar air dalam rongga sel batang kelapa sawit mengalami penurunan sehingga kompregnan mudah masuk terutama pada daerah parenkin. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Grafik Penambahan Berat Batang Kelapa Sawit

Dari hasil uji statistik (Lampiran 6), faktor suhu dan tekanan memberikan pengaruh berbeda sangat nyata terhadap penambahan berat kayu sawit, sementara

kombinasi faktor suhu dan tekanan memberikan pengaruh yang tidak berbeda nyata terhadap penambahan berat. Suhu 40 °C dan 60 °C memberikan pengaruh yang sama terhadap penambahan berat, tetapi berbeda nyata dengan suhu 80 °C dan suhu 100 °C. Sementara faktor tekanan 11 kg/cm<sup>2</sup>, 8 kg/cm<sup>2</sup>, dan 5 kg/cm<sup>2</sup> mempunyai pengaruh yang berbeda nyata terhadap penambahan berat kayu sawit. Berdasarkan analisis diperoleh rata-rata penambahan berat terbaik pada suhu 100 °C dengan tekanan 11 kg/cm<sup>2</sup>.

#### 4.1.4 Susut Volume

Susut merupakan suatu ukuran stabilitas dimensi batang kayu. Semakin besar susut batang kayu semakin tidak stabil dan sebaliknya. Stabilitas dimensi batang kelapa sawit tergolong rendah dibanding dengan kebanyakan kayu solid lain (Bakar *et al.*, 1998). Pemberian kompregnasi memakai Phenol Formaldehida pada batang kelapa sawit mampu menurunkan susut. Pengaruh pemberian tekanan dan suhu terhadap kayu sawit dapat dilihat pada Tabel 7.

Tabel 7. Nilai Rata-Rata Susut Volume Batang Kayu Sawit Terkompregnasi

	B1 (%)	B2 (%)	B3 (%)	B4 (%)
A1	6.2372	6.7062	6.9151	5.9744
A2	6.8891	6.9736	7.0297	6.9288
A3	7.7888	7.7955	8.0799	7.5365

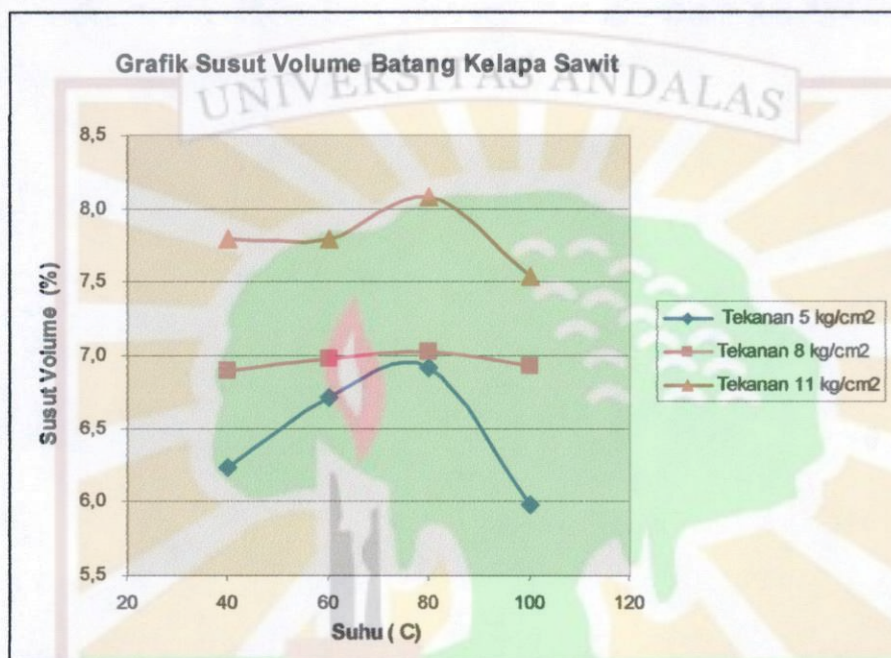
Keterangan A: Tekanan (A1 = 5 kg/cm<sup>2</sup>, A2 = 8 kg/cm<sup>2</sup> dan A3 = 11 kg/cm<sup>2</sup>)

B: Suhu (B1 = 40°C, B2 = 60°C, B3 = 80°C dan B4 = 100°C)

Susut akan meningkat apabila semakin tinggi tekanan. Perbedaan susut volume terjadi diduga berkaitan dengan berat jenis. Pada tekanan tinggi susut volume tinggi dimungkinkan karena semakin tinggi berat jenis kemampuan menyusut semakin besar. Juga ada kemungkinan jumlah kompregnan yang banyak masuk berpengaruh terhadap semakin besarnya susut. Dapat dilihat pada Gambar 5, bahwa tekanan 5 kg/cm<sup>2</sup>, suhu 100 °C menunjukkan peningkatan susut yang lebih dominan.



USDA (1998) menyebutkan bahwa proses kompregnasi umumnya meningkatkan susut pada kayu. Besarnya nilai efisiensi susut pada batang kelapa sawit lebih disebabkan struktur awal batang kelapa sawit berbeda dengan batang sawit sebelum dikompregnasi.



Gambar 5. Grafik Susut Volume Batang Kelapa Sawit

Dari hasil uji statistik (Lampiran 6), faktor suhu dan tekanan memberikan pengaruh berbeda sangat nyata, serta kombinasi perlakuan faktor suhu dengan tekanan memberikan pengaruh yang berbeda nyata terhadap penyusutan volume kayu sawit. Hal ini memperlihatkan adanya interaksi antara tekanan dan suhu terhadap penyusutan volume kayu sawit. Tetapi untuk masing-masing perlakuan, peningkatan tekanan dan peningkatan suhu telah memberikan pengaruh yang berbeda-beda terhadap penurunan penyusutan kayu kelapa sawit. Suhu 100 °C dan 40 °C memberikan pengaruh yang sama, tetapi berbeda nyata dengan suhu 60 °C dan 80 °C yang memberikan pengaruh yang sama terhadap penyusutan volume kayu sawit.

Sementara faktor tekanan 11 kg/cm<sup>2</sup>, 8 kg/cm<sup>2</sup>, dan 5 kg/cm<sup>2</sup> mempunyai pengaruh yang berbeda nyata terhadap penyusutan volume kayu sawit.

Dari hasil pengujian sifat fisik yang meliputi Penambahan Berat, Kadar Air, Berat Jenis dan Susut Volume, ternyata kombinasi yang paling optimal untuk meningkatkan stabilitas dimensi batang sawit adalah pada tekanan 11 kg/cm<sup>2</sup> pada suhu 80°C. Hal ini terlihat dari beberapa indikator yang diuji, pada kondisi tersebut sudah tidak menunjukkan perbedaan yang lebih baik.

## 4.2 Sifat Mekanik

### 4.2.1 Modulus Patah (MOR)

Kemampuan batang kelapa sawit terkompregnasi dalam menahan beban yang diterima cenderung meningkat dengan nilai yang bervariasi. Peningkatan kekuatan lentur (MOR) pada setiap tekanan dan suhu dan kekuatan kayu juga dipengaruhi oleh kadar air, berat jenis. Penambahan Phenolformadehida karena semakin rendah kadar air maka Phenolformadehida semakin banyak masuk kedalam sehingga Berat Jenis meningkat. Pengaruh Modulus Patah (MOR) dapat dilihat pada Tabel 8.

Tabel 8. Nilai Rata-Rata Modulus Patah (MOR) Batang Kayu Sawit Terkompregnasi

Perlakuan	B1 (kg/cm <sup>2</sup> )	B2 (kg/cm <sup>2</sup> )	B3 (kg/cm <sup>2</sup> )	B4 (kg/cm <sup>2</sup> )
A1	337	346	473	410
A2	341	426	479	368
A3	459	487	523	480

Keterangan A: Tekanan (A1 = 5 kg/cm<sup>2</sup>, A2 = 8 kg/cm<sup>2</sup> dan A3 = 11 kg/cm<sup>2</sup>)

B: Suhu (B1 = 40°C, B2 = 60°C, B3 = 80°C dan B4 = 100°C)

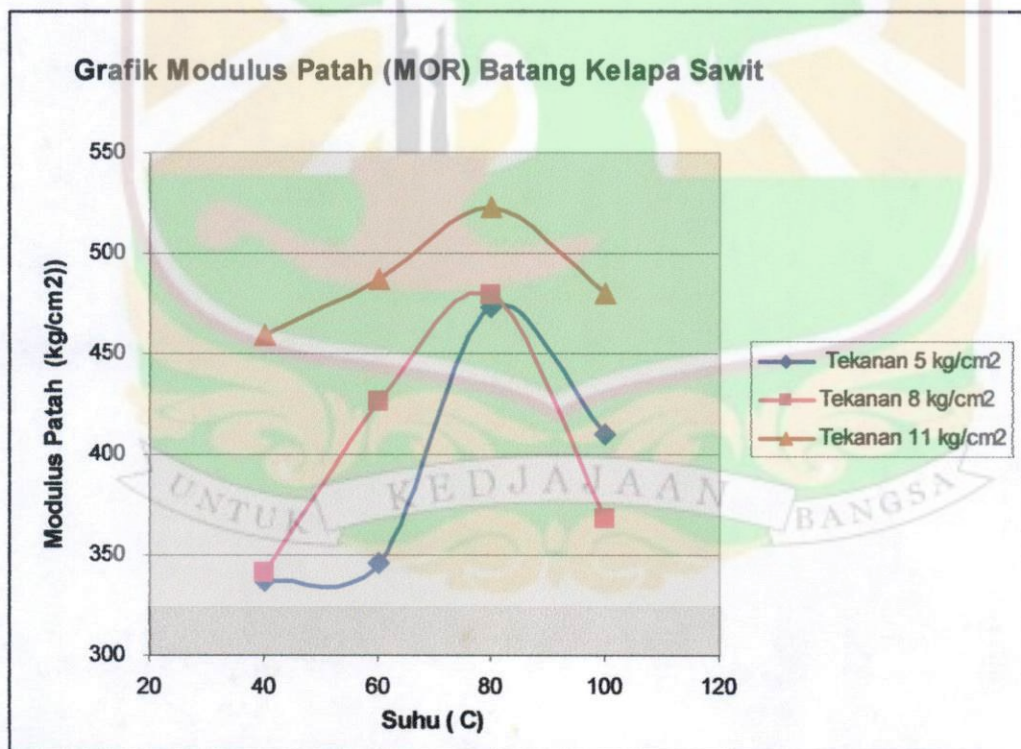
Hasil pengujian statistik (Lampiran 6), menunjukkan peningkatan tekanan mempengaruhi kekuatan lentur (MOR). Peningkatan lebih jelas terjadi pada tekanan 11 bar pada suhu 80°C. Besarnya nilai MOR pada tekanan tinggi disebabkan



keberadaan Phenol Formaldehida yang berfungsi meliatkan kayu khususnya daerah parenkin dasar sawit sehingga kekuatan fisiknya meningkat.

Keberadaan Phenol Formaldehida berat molekulnya tinggi pada kayu ummnya terdapat pada rongga sel dan sedikit yang terdapat pada dinding sel. Kontribusi Phenol Formaldehida pada dinding dan rongga sel menjadi penyebab kekuatan kayu meningkat (Takeshi, 1998).

Sedangkan suhu juga mempengaruhi perbedaan terhadap nilai MOR. Dapat dilihat pada grafik diagram dimana pada suhu  $100^{\circ}\text{C}$  pada tekanan  $8\text{ kg/cm}^2$  dan  $11\text{ kg/cm}^2$  terjadi penurunan nilai MOR. Hal ini terjadi kekuatan kayu mulai berkurang saat suhu mencapai titik didih.



Gambar 6. Grafik Modulus Patah (MOR) Batang Kelapa Sawit

Dari hasil uji statistik (Lampiran 6), faktor suhu dan tekanan serta kombinasi perlakuan faktor suhu dengan tekanan mempengaruhi modulus patah kayu sawit. Hal

ini memperlihatkan adanya interaksi antara tekanan dan suhu terhadap modulus patah kayu sawit. Tetapi untuk masing-masing perlakuan, peningkatan tekanan dan peningkatan suhu telah memberikan pengaruh yang berbeda-beda terhadap modulus patah kayu kelapa sawit. Suhu 40 °C memberikan pengaruh yang berbeda nyata terhadap modulus patah kayu sawit, dengan suhu 60 °C, 100 °C, dan 80 °C yang mempunyai pengaruh yang sama. Sementara faktor tekanan 5 kg/cm<sup>2</sup> dan 8 kg/cm<sup>2</sup>, mempunyai pengaruh yang sama, tetapi berbeda nyata dengan tekanan 11 kg/cm<sup>2</sup> terhadap modulus patah kayu sawit. Berdasarkan analisis diperoleh rata-rata modulus patah terbaik pada suhu 80 °C dengan tekanan 11 kg/cm<sup>2</sup>.

#### 4.2.2 Kekerasan (Tekan Tegak Lurus Serat )

Kekerasan merupakan ukuran kemampuan kayu menahan benturan dari permukaan benda lain. Hasil pengujian statistik nilai kekerasan berpengaruh terhadap tekanan. Semakin tinggi tekanan nilai kekerasan semakin bertambah. Pengaruh dari tekanan dan suhu terhadap kekerasan kayu sawit dapat dilihat pada Tabel 9.

Tabel 9. Nilai Rata-Rata Kekerasan (Tekan Tegak Lurus Serat) Batang Kayu Sawit Terkompregnasi

Perlakuan	B1 (kg/cm <sup>2</sup> )	B2 (kg/cm <sup>2</sup> )	B3 (kg/cm <sup>2</sup> )	B4 (kg/cm <sup>2</sup> )
A1	43.0953	57.6300	66.4891	48.8448
A2	43.8338	66.8125	68.7688	56.7938
A3	54.1875	66.9225	73.2163	57.2813

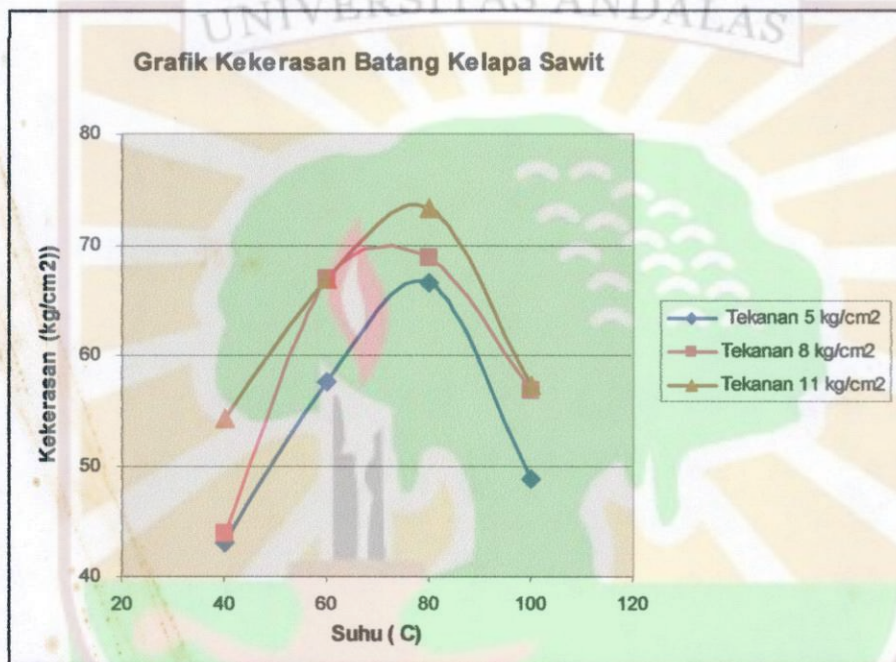
Keterangan A: Tekanan ( A1 = 5 kg/cm<sup>2</sup>, A2 = 8 kg/cm<sup>2</sup> dan A3 = 11 kg/cm<sup>2</sup>)

B: Suhu (B1 = 40°C, B2 = 60°C, B3 = 80°C dan B4 = 100°C)

Besarnya nilai kekerasan juga dipengaruhi oleh kadar air, berat jenis dan penambahan berat. pada tekanan tinggi karena kompregnan dapat masuk keberadaan mencapai parenkin. Keberadaan kompregnan pada parenkin menyebabkan kekuatannya meningkat dengan ciri parenkin semakin kaku.



Suhu berpengaruh terhadap nilai kekerasan. Semakin tinggi suhu maka kekerasan semakin meningkat, namun pada suhu di atas  $80^{\circ}\text{C}$  kekerasan akan menurun. Hal ini disebabkan pada suhu di atas  $80^{\circ}\text{C}$  berkurangnya kadar air dan berat jenis dari kayu sawit tersenut. Sifat dari batang kelapa sawit tersebut melemah dapat mengakibatkan degradasi yang akan mengurangi kekerasan (Panshin dan De Zeeuw, 1970).



Gambar 7. Grafik Kekerasan (Tekan Tegak Lurus Serat)

Dari hasil uji statistik (Lampiran 6), faktor suhu memberikan pengaruh yang berbeda sangat nyata terhadap kekerasan kayu sawit, sementara faktor tekanan dan kombinasi faktor suhu dengan tekanan tidak berbeda nyata terhadap pengaruh kekerasan kayu sawit. Suhu  $40^{\circ}\text{C}$  memberikan pengaruh yang berbeda nyata terhadap kekerasan, dengan suhu  $100^{\circ}\text{C}$  dan dengan suhu  $60^{\circ}\text{C}$  dan suhu  $80^{\circ}\text{C}$  yang mempunyai pengaruh yang sama terhadap kekerasan kayu sawit. Sementara faktor tekanan  $5\text{ kg/cm}^2$ ,  $8\text{ kg/cm}^2$  mempunyai pengaruh yang sama terhadap kekerasan kayu sawit dan berbeda nyata dengan tekanan  $11\text{ kg/cm}^2$  yang mempunyai pengaruh sama

gawit dan pempadatan yang diberikan tekanan 11 kg/cm<sup>2</sup> yang menimbulkan benangair sama tekanan 2 kg/cm<sup>2</sup>, 8 kg/cm<sup>2</sup> menimbulkan benangair yang sama terpadat kekerasan kawat menimbulkan benangair yang sama terpadat kekerasan kawat gawit. Sementara faktor kekerasan: diberikan suhu 100 °C dan diberikan suhu 60 °C dan suhu 80 °C yang kekerasan kawat gawit. Suhu 60 °C menimbulkan benangair yang pempadatan yang terpadat komposisi faktor suhu diberikan tekanan 11 kg/cm<sup>2</sup> terpadat benangair pempadatan yang terpadat kekerasan kawat gawit. Sementara faktor tekanan dan Dan hasil uji statistik (Gambaran 6) faktor suhu menimbulkan benangair yang

Gambaran 6. Grafik Kekerasan (Tekan Tekan Panas Suhu)



1010)

mengakibatkan degradasi yang akan mengurangi kekerasan (Banshin dan De Zeeuw, jenis dari kawat gawit terapan. Sifat dari bahan kawat gawit terapan melambatkan degradasi. Hal ini disebabkan pada suhu di atas 80 °C penguapannya kadar air dan berat kekerasan semakin meningkat, namun pada suhu di atas 80 °C kekerasan akan Suhu penguapan terpadat nilai kekerasan. Semakin tinggi suhu maka



dengan tekanan 8 kg/cm<sup>2</sup>. Berdasarkan analisis diperoleh rata-rata kekerasan terbaik pada suhu 80 °C dengan tekanan 11 kg/cm<sup>2</sup>.

#### 4.2.3 Keuletan (Keteguhan Pukul)

Hasil nilai keuletan secara umum meningkat, ada pengaruh interaksi antara pemberian tekanan dan suhu pada proses kompregnasi. Peningkatan ini dipengaruhi oleh tekanan, suhu dan berat jenis dimana semakin tinggi tekanan nilai keuletan batang kelapa sawit meningkat. Pada tekanan tinggi memungkinkan cairan perekat masuk lebih sempurna sehingga kekuatan bagian dalam dan permukaan relatif seimbang. Pengaruh tekanan dan suhu terhadap keuletan kayu sawit dapat dilihat pada Tabel 10.

Tabel 10. Nilai Rata-Rata Keuletan Batang Kayu Sawit Terkompregnasi

Perlakuan	B1	B2	B3	B4
A1	33.2263	33.5300	34.5616	29.9750
A2	34.6927	34.6333	34.8447	29.7795
A3	32.7197	35.1834	35.2331	34.6762

Keterangan A: Tekanan ( A1 = 5 kg/cm<sup>2</sup>, A2 = 8 kg/cm<sup>2</sup> dan A3 = 11 kg/cm<sup>2</sup>)

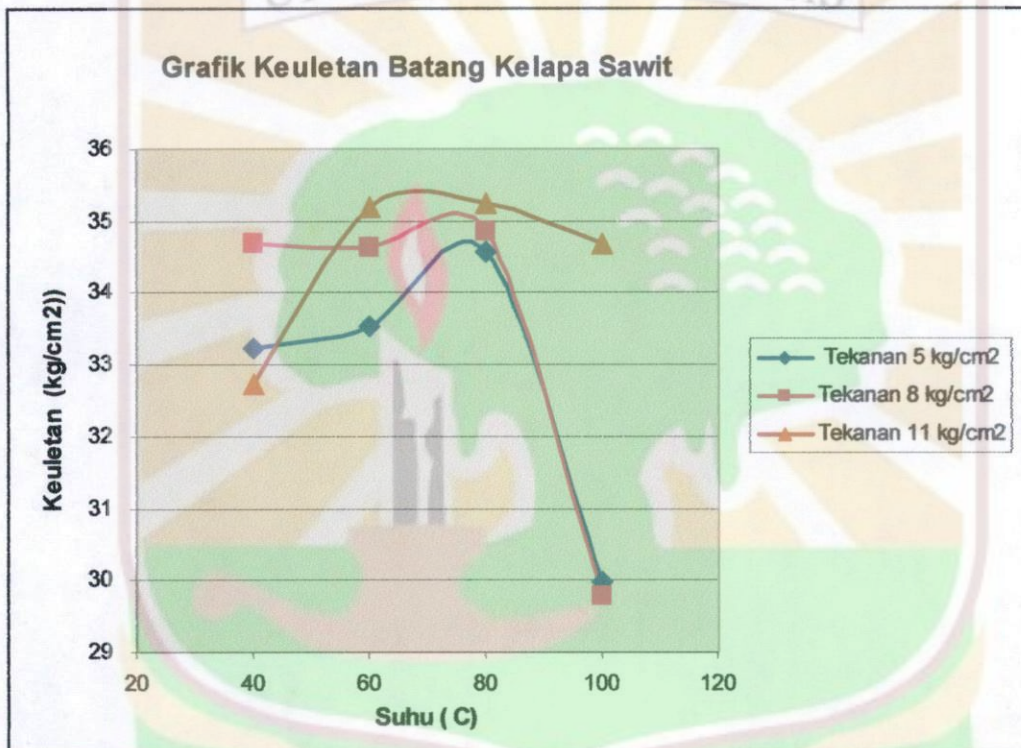
B: Suhu (B1 = 40°C, B2 = 60°C, B3 = 80°C dan B4 = 100°C)

+

Suhu berpengaruh terhadap keuletan batang kelapa sawit. Hal ini terlihat digrafik diagram pada tekanan 11 kg/cm<sup>2</sup>, suhu 60 °C menunjukkan tidak jauh berbeda dengan suhu 80°C pada tekanan sama. Namun tidak berlaku pada tekanan 5 kg/cm<sup>2</sup>, dan 8 kg/cm<sup>2</sup>, terlihat bahwa keuletan justru turun pada suhu tinggi. Kemungkinan pada suhu mencapai titik didih Phenol Formaldehida yang masuk kedalam dimungkinkan kurang maksimal.

Dari hasil uji statistik (Lampiran 6), faktor suhu dan tekanan serta kombinasi perlakuan faktor suhu dengan tekanan memberikan pengaruh yang berbeda sangat nyata terhadap keuletan kayu sawit. Hal ini memperlihatkan adanya interaksi antara tekanan dan suhu terhadap keuletan kayu sawit. Suhu 100 °C memberikan pengaruh yang berbeda nyata dengan suhu 40 °C, dan suhu 60 °C dan 80 °C yang memberikan

pengaruh yang sama terhadap keuletan kayu sawit. Sementara faktor tekanan 5 kg/cm<sup>2</sup> dan 8 kg/cm<sup>2</sup> mempunyai pengaruh yang sama tapi berbeda nyata dengan tekanan 11 kg/cm<sup>2</sup> terhadap keuletan kayu sawit. Berdasarkan analisis diperoleh rata-rata kekerasan terbaik pada suhu 80 °C dengan tekanan 11 kg/cm<sup>2</sup>. Peningkatan tekanan dan suhu pada proses kompregnasi kayu sawit akan menyebabkan terjadinya peningkatan keuletan kayu, hal ini juga dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 8 . Grafik Keuletan Batang Kelapa Sawit

Dari pengujian sifat mekanik secara umum dapat diketahui bahwa kekuatan meningkat dengan semakin besarnya tekanan yang diberikan, sedangkan untuk suhu tidak begitu besar pengaruhnya.



## V. KESIMPULAN

### 5.1. Kesimpulan

1. Sifat fisik batang kayu sawit tidak terlalu begitu berpengaruh nyata oleh perlakuan perbedaan suhu panas tapi sangat berpengaruh nyata oleh perbedaan tekanan yang diberikan untuk memasukan Phenol Formaldehida pada batang kayu sawit.
2. Sifat mekanis batang kayu sawit sangat berpengaruh nyata oleh perlakuan suhu dan tekanan yang diberikan untuk memasukan Phenol Formaldehida pada batang sawit.
3. Pada sifat fisik batang kayu sawit yang dihasilkan ada interaksi perlakuan antara suhu dan tekanan terhadap susut volume batang kayu sawit.
4. Pada sifat mekanis adanya interaksi perlakuan antara suhu dan tekanan terhadap keteguhan lentur statis (MOR) dan keuletan batang kayu sawit yang dihasilkan.
5. Dari berbagai kombinasi perlakuan suhu dan tekanan yang paling optimal dalam proses kompregnasi yang memberikan peningkatan kelas kuat kayu batang kelapa sawit Keteguhan Lentur Statis (MOR) dan Berat Jenis (BJ) masuk kelas II. dalam pengujian sifat fisik dan sifat mekanis pada suhu  $80^{\circ}\text{C}$  dengan tekanan  $11 \text{ kg/cm}^2$  (  $\text{KA} = 10,4267 \%$ ,  $\text{BJ} = 0,6211 \text{ gr/cm}^3$ ,  $\text{PB} = 36,4703$ ,  $\text{S} = 8,0799 \%$ ,  $\text{MOR} = 523 \text{ kg/cm}^2$ ,  $\text{H} = 73,2163 \text{ kg/cm}^2$ ,  $\text{T} = 35,2331 \text{ kg/cm}^3$  ).

### 5.2. Saran

1. Perlakuan-perlakuan untuk memperbaiki sifat pengerjaan batang kelapa sawit akan meningkatkan biaya produksi, sehingga perlu dikaji secara ekonomis pemanfaatan batang kelapa sawit dan daya saing dengan produk sejenis.

2. Untuk penelitian berikutnya perlu dilakukan yang mempelajari peningkatan suhu dengan kenaikan  $2^{\circ}\text{C}$  pada suhu sekitar  $80^{\circ}\text{C}$ .





## DAFTAR PUSTAKA

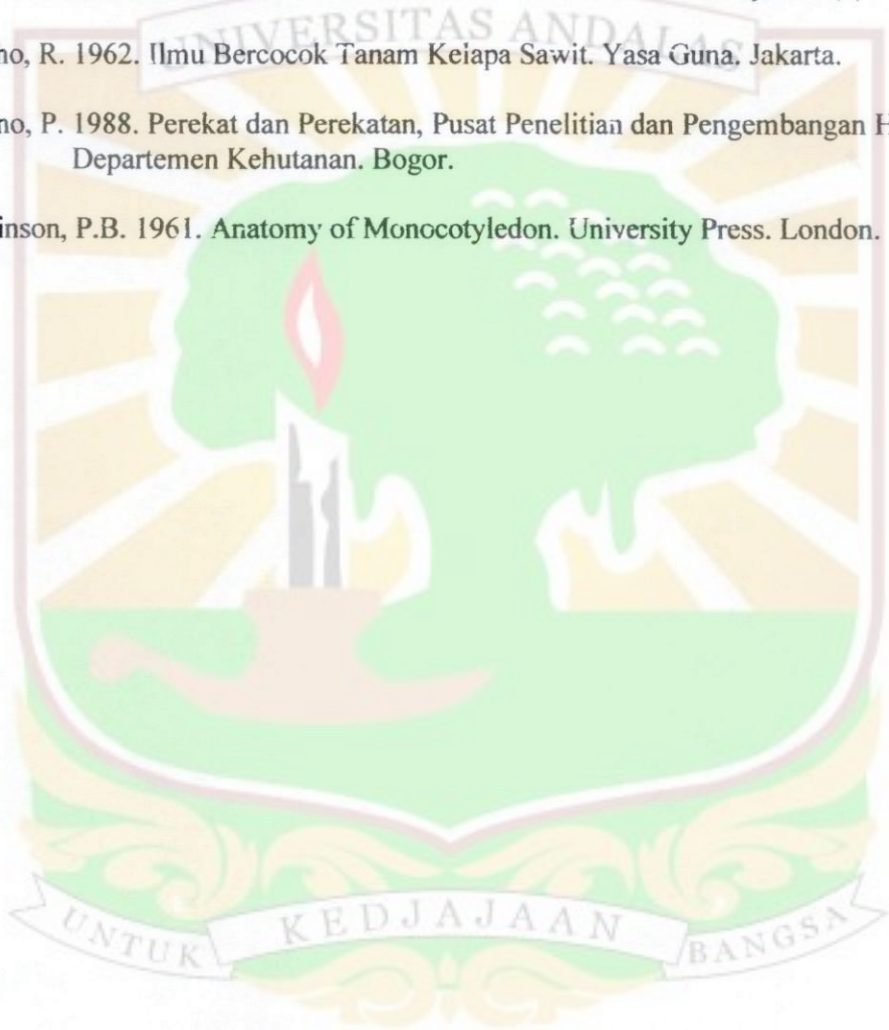
- Achmadi, S. S. 1990. Kimia Kayu. Departemen Pendidikan dan Kebudayaan Direktorat Jendral Pendidikan Tinggi PAU. Ilmu Hayat. IPB. Bogor.
- Anonim, 1959. Coconut Wood. The Proceeding of Coconut Wood, Meeting Manila Zambuangna. 22-27 October 1959 : 24-30.
- Anwar Kasim, 2001. Penuntun Praktikum Pengolahan Hasil Hutan Program Pascasarjana Universitas Andalas. Padang.
- ASTM.1994. Methods of Testing Small Clear Specimen of Timber. American Standard for Testing and Material D 143-94.
- Badan Pusat Statistik Propinsi Sumatera Barat. Sumatera Barat Dalam Angka. 2005.
- Bakar, E.S, O. Rachman, D. Hermawan dan W. Dermawan. 1998. Pemanfaatan Batang Kelapa Sawit (*Elaeins guineensis*, Jacq) Sebagai Bahan Bangunan dan Furniture: Identifikasi dan Morfologi Batang dan Pengkajian Sifat-Sifat Dasar Kayu Kelapa Sawit. Laporan Penelitian Hibah Bersaing VI/I Perguruan Tinggi Tahun Anggaran 1997/1998, Jurusan Tehnologi Hasil Hutan, Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Bakar, E.S, O. Rachman, Y. Massijaya dan Bahruni. 1999. Pemanfaatan Batang Kelapa Sawit (*Elaeins guineensis*, Jacq) Sebagai Bahan Bangunan dan Furniture: Aspek-Aspek Permesinan dan Pengolahan Serta Kajian Ekonomi Pemanfaatan Kayu Kelapa Sawit Sebagai Bahan Bangunan dan Furniture. Laporan Penelitian Hibah Bersaing VI/II Perguruan Tinggi Tahun Anggaran 1998/1999, Jurusan Tehnologi Hasil Hutan, Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Bakar, E.S, O. Rachman, Y. Massijaya dan Bahruni. 2000. Pemanfaatan Batang Kelapa Sawit (*Elaeins guineensis*, Jacq) Sebagai Bahan Bangunan dan Furniture: Perbaikan Kualitas Kayu Kelapa Sawit dengan Teknik Kompregnasi. Laporan Penelitian Hibah Bersaing VI/III Perguruan Tinggi Tahun Anggaran 1999/2000, Jurusan Tehnologi Hasil Hutan, Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- British Standard Institution. 1957. Methods of Testing Small Clear of Timber Serial B.S. British Standard Institution London.
- Brown, H.P, A.J. Pansin, and C.C. Forsaith. 1952 Text of Wood Tecnologi. Vol, II. Mc Graw Hill Book Company, Inc. New York.
- Den Berger, L.G. 1923. Degronslagen voor de classificatie der Nederlandsch –Indische timmerhout soorten. Tectona DL. XVI (7) : 602-807.
- Donald R. Askeland and Pradeep P. Phule. The Science and Engineering of Materials. Fourth Edition, p : 252-255.
- Dumanauw. J.F. 1994. Mengenal Kayu. Penerbit Kanisius. Yogyakarta.



- Haslett, A.N. 1990. Suitability of Oil Palm Trunk for Timber Use. *Journal of Tropical Science Rotorua. New Zealand* 2:3, 243-251.
- Haygreen, J.G dan J.L Bowyer. 1982. *Forest Product and Wood Science, An Introduction*. The Iowa State University Press. Ames Iowa.
- Haygreen, J.G dan J.L Bowyer. 1993. *Hasil Hutan, dan Ilmu Kayu (terjemahan)*. Gadjah Mada University Press. Yogyakarta.
- Hidayat, I. 1998. Identifikasi Morfoologi Batang, dan Pengujian Sifat-Sifat Dasar Kayu Sawit (*Elaeids guineensis*, Jacq) dengan Penekanan pada Sifat Mekanis, dan Penggergajiannya. Skripsi. Jurusan Teknologi Hasil Hutan, Fakultas Kehutanan, Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Jusoh, M.Z, M.H.Md.Thanil, Z.Azhari, and M. H. Sahri. 1991. Shrinkage Properties of Palmwood. *Seminar Proceeding Oil Palm Trunk and Other Palmwood Utilization*. Ming Court Hotel. Kuala Lumpur, p:19-26.
- Killman, W. dan S C. Lim. 1985. *Anatomy and Properties Palm Stem*. Proc f nat. Symp. on Oil Palm by-Products for Agrobased Industries. Kuala Lumpur.
- Kollman, F.F.F. and W.A. Cote. 1968. *Principle of Wood Science, and Technology*. Volume I. Spring Verlag. Berlin.
- Lim S.C dan K.C Khoo. 1998. Characteristic of Oil Palm Trunk and Its Utilization. *Malaysia Forester*, 49: 1-2, 3-22: 10 ref.
- Maloney, T.M. 1996. The Family of Wood Composite Material. *Forest Products Journal*, 46:2, 19-26.
- Mulyadi, A.T. 2000. *Permintaan dan Pasokan Kayu di Indonesia*. Rimbun No. 18. Dephutbun.
- Nicholas, D.D. 1973. *Kemunduran (Deteriorasi) Kayu dan Pencegahannya dengan Perlakuan-Perlakuan Pengawetan*. Airlangga University Press. Surabaya (terjemahan).
- Prayitno, I.A. 1991. *Palm Wood Utilition. Sago Properties and it' s Utilization*. IDRC-GMU Project-Report.
- Prayitno, I.A. 1995. Bentuk Batang dan Sifat Fisik Kayu Kelapa Sawit. *Buletin Fakultas Kehutanan. Universitas Gadjah Mada No. 28/ 1995*. Yogyakarta pp: 43-59.
- Prayitno, T. A. dan Darnoko. 1994. Karakteristik Papan Partikel dari Pohon Kelapa Sawit. *Berita Pusat Penelitian Kelapa Sawit Vol. 2 (3) pp: 211-220*.
- Purseg Love, J.W. 1972. *Tropical Corp. Monocotyledons 2*. Long Man. Group Limited, London.
- Pusat Data Informasi Pertanian, Departemen Pertanian Republik Indonesia, Jakarta, 2005.



- Rosdiana, N. 1998. Identifikasi Morfologi Batang, dan Pengujian Sifat Fisis, Komposisi Kimia Batang serta Keawetan Alami Kayu Sawit (*Elaeins guineensis*, Jacq). Skripsi. Jurusan Teknologi Hasil Hutan, Fakultas Kehutanan, Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Rowell, R.M. and P. Konkol. 1987, Treatment That Encahance Physical Properties of Wood. FPL GTR-555 Forest Laboratory, Madison Wiskonsin. 12p.
- Siregar, A.G. 1988. Studi Sifat Fisis, dan Mekanis Kayu Laminasi Kemiri dengan Kelapa Sawit. Skripsi. Jurusan Teknologi Hasil Hutan, Fakultas Kehutanan, Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Stamm, A.J. 1962. Stabilization of Wood. Forest Product Journal. April 12(4) : 158-160.
- Sutejho, R. 1962. Ilmu Bercocok Tanam Kelapa Sawit. Yasa Guna, Jakarta.
- Sutigno, P. 1988. Perekat dan Perekatan, Pusat Penelitian dan Pengembangan Hasil Hutan Departemen Kehutanan. Bogor.
- Tomlinson, P.B. 1961. Anatomy of Monocotyledon. University Press. London.



UNIVERSITAS ANDALAS

# LAMPIRAN

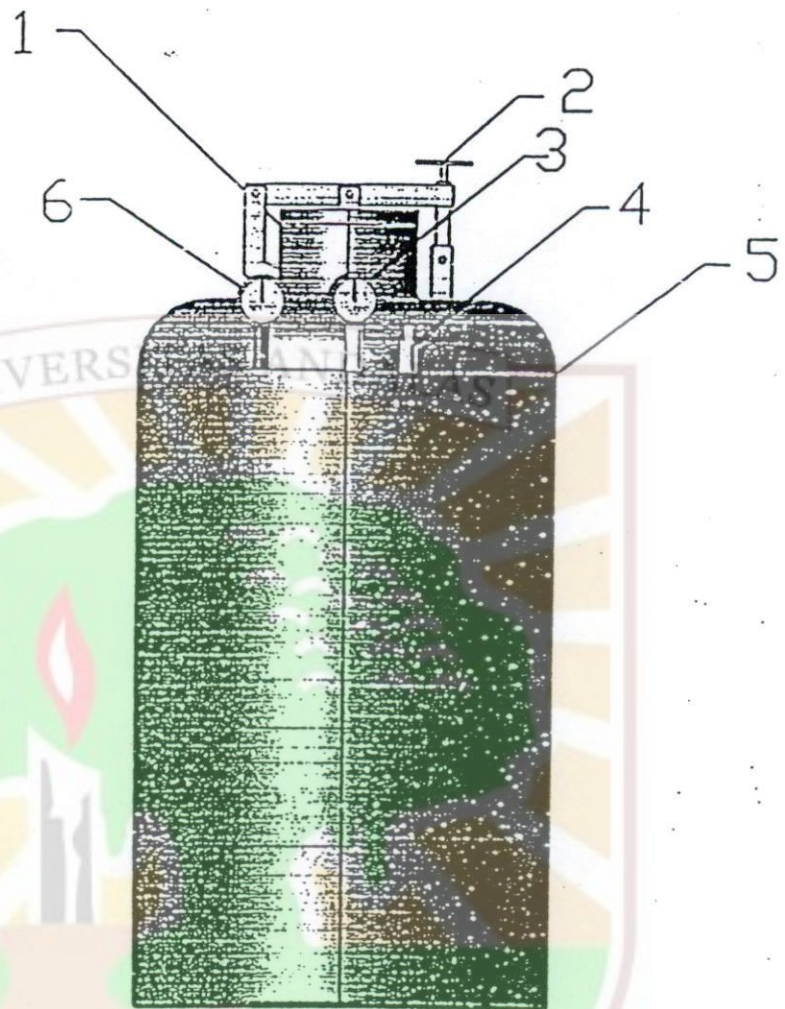
UNTUK KEDJAJAAN BANGSA



**Lampiran 1. Jadwal Kegiatan**

KEGIATAN	TEMPAT	BULAN											
		Desember 2008				Januari 2009				Februari 2009			
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Persiapan Bahan	Kabupaten Pasaman Barat	xxx											
Pembuatan Alat Kompregnasi	Laboratorium Politeknik Mesin	xxx	xxx	xxx	xxx								
Pembuatan contoh uji	Laboratorium Politeknik Mesin				xxx	xxx							
Proses Kompregnasi	Laboratorium Politeknik Negeri Padang						xxx	xxx					
Proses Penjemuran									xxx	xxx			
Pengujian Sifat Fisik	Laboratorium Teknologi Pertanian UNAND										xxx		
Pengujian Sifat Mekanis	Laboratorium Politeknik dan Fakultas Teknik										xxx		
Pengolahan data												xxx	
Penulisan										xxx	xxx	xxx	

## Lampiran 2. Gambar Tabung Kompregnasi



1	Termo Kopel	6			
1	Tabung	5			
1	Pentil Angin	4			
1	Pressure Gauge	3			
1	Tuas Pengunci	2			
1	Tutup	1			
Jumlah	Nama Bagian				
	Part Name	No Bag	Bahan	Ukuran	Keterangan
					
	TABUNG KOMPREGNASI			Skala 1 : 10	Digambar YUWARTAN
					Diketik NASIRWATI
	TIP UNAND				Diperiksa NASIRWATI



Lampiran 3. Rekapitulasi Data Pengujian Sifat Fisik

Perlakuan	Ulangan	Kadar Air (%)	Berat Jenis (gr/cm <sup>3</sup> )	Penambahan Berat/WPG (%)	Susut (%)
A1B1	1	11.2526	0.5270	19.5700	6.2244
A1B1	2	11.7326	0.5050	21.8700	6.3408
A1B1	3	11.7327	0.4693	20.1200	6.1463
Rata-rata		11.5726	0.5004	20.5200	6.2372
A1B2	1	12.4721	0.5083	19.6500	6.7263
A1B2	2	11.6547	0.5045	21.5600	6.6857
A1B2	3	12.1124	0.5094	20.0079	6.7066
Rata-rata		12.0797	0.5074	20.4060	6.7062
A1B3	1	11.4494	0.4689	21.9689	6.7406
A1B3	2	11.6328	0.5822	22.0380	7.0240
A1B3	3	12.2203	0.4981	23.0987	6.9806
Rata-rata		11.7675	0.5164	22.3685	6.9151
A1B4	1	11.3284	0.4752	22.9780	5.8110
A1B4	2	11.3284	0.4602	23.6780	6.1256
A1B4	3	11.5556	0.5861	21.8970	5.9865
Rata-rata		11.4041	0.5072	22.8510	5.9744
A2B1	1	10.9578	0.5114	26.0807	7.0323
A2B1	2	10.9554	0.5212	24.9876	6.7893
A2B1	3	11.4528	0.5360	26.8456	6.8456
Rata-rata		11.1220	0.5229	25.9713	6.8891
A2B2	1	11.0447	0.5294	25.0198	7.0198
A2B2	2	11.7766	0.5047	27.0054	7.0054
A2B2	3	11.4343	0.5741	26.5956	6.8956
Rata-rata		11.4185	0.5361	26.2069	6.9736
A2B3	1	10.2444	0.5723	27.0977	7.0977
A2B3	2	10.6950	0.5205	26.9857	6.9857
A2B3	3	10.7656	0.5212	27.0556	7.0056
Rata-rata		10.5683	0.5380	27.0463	7.0297
A2B4	1	11.4580	0.5237	29.0628	7.0628
A2B4	2	11.8987	0.5158	31.9380	6.9380
A2B4	3	10.0707	0.5304	32.7856	6.7856
Rata-rata		11.1425	0.5233	31.2621	6.9288

## Lampiran 3. Lanjutan

Perlakuan	Ulangan	Kadar Air (%)	Berat Jenis (gr/cm <sup>3</sup> )	Penambahan Berat/WPG (%)	Susut (%)
A3B1	1	11.5437	0.5281	35.5643	7.9643
A3B1	2	10.8356	0.5410	33.8568	7.8568
A3B1	3	12.1586	0.5646	35.5453	7.5453
Rata-rata		11.5126	0.5446	34.9888	7.7888
A3B2	1	10.9406	0.5650	36.6856	7.9222
A3B2	2	10.5944	0.6010	34.3245	7.7859
A3B2	3	11.0445	0.5453	35.8907	7.6784
Rata-rata		10.8598	0.5704	35.6336	7.7955
A3B3	1	10.2900	0.6053	36.3452	8.1741
A3B3	2	10.0677	0.6375	35.0767	8.0767
A3B3	3	10.9225	0.6205	37.9890	7.9890
Rata-rata		10.4267	0.6211	36.4703	8.0799
A3B4	1	10.1250	0.5184	39.6799	7.5114
A3B4	2	8.8756	0.5975	39.0987	7.5678
A3B4	3	9.5445	0.5302	38.5302	7.5302
Rata-rata		9.5150	0.5487	39.1029	7.5365

Keterangan :

A 1 = 5 kg/cm<sup>2</sup>A 2 = 8 kg/cm<sup>2</sup>A 3 = 11 kg/cm<sup>2</sup>

B 1 = 40 ° C

B 2 = 60 ° C

B 3 = 80 ° C

B 4 = 100 ° C





Lampiran 4. Rekapitulasi Data Pengujian Sifat Mekanis

Perlakuan	Ulangan	MOR ( $\text{kg/cm}^2$ )	Kekerasan ( $\text{kg/cm}^2$ )	Keuletan ( $\text{kg/cm}^2$ )
A1B1	1	327	38.0625	34.6393
A1B1	2	338	48.1250	30.4543
A1B1	3	346	43.0985	34.5854
Rata-rata		337	43.0953	33.2263
A1B2	1	356	78.9475	34.7475
A1B2	2	347	36.3125	32.3125
A1B2	3	334	57.6300	33.5300
Rata-rata		346	57.6300	33.5300
A1B3	1	384	64.0625	34.4660
A1B3	2	394	66.9375	34.6754
A1B3	3	453	68.4674	34.5433
Rata-rata		410	66.4891	34.5616
A1B4	1	465	45.0000	30.0484
A1B4	2	457	52.6875	31.0068
A1B4	3	497	48.8468	28.8699
Rata-rata		473	48.8448	29.9750
A2B1	1	342	47.0625	34.6605
A2B1	2	326	40.6050	34.8640
A2B1	3	356	43.8338	34.5536
Rata-rata		341	43.8338	34.6927
A2B2	1	427	65.0000	34.8990
A2B2	2	417	68.6250	34.7664
A2B2	3	435	66.8125	34.2346
Rata-rata		426	66.8125	34.6333
A2B3	1	468	75.6625	34.8998
A2B3	2	489	61.8750	34.7895
A2B3	3	479	68.7688	34.8447
Rata-rata		479	68.7688	34.8447
A2B4	1	373	54.0000	29.4203
A2B4	2	346	57.1875	30.0540
A2B4	3	384	59.1938	29.8643
Rata-rata		368	56.7938	29.7795

## Lampiran 4. Lanjutan

Perlakuan	Ulangan	MOR (kg/cm <sup>2</sup> )	Kekerasan (kg/cm <sup>2</sup> )	Keuletan (kg/cm <sup>2</sup> )
A3B1	1	463	53.1250	32.4380
A3B1	2	456	55.2500	33.0645
A3B1	3	458	54.1875	32.6567
Rata-rata		459	54.1875	32.7197
A3B2	1	487	58.6575	35.2380
A3B2	2	496	75.1875	35.2356
A3B2	3	477	66.9225	35.0765
Rata-rata		487	66.9225	35.1834
A3B3	1	506	76.6250	35.0804
A3B3	2	534	69.8125	35.2564
A3B3	3	528	73.2113	35.3624
Rata-rata		523	73.2163	35.2331
A3B4	1	498	55.7500	34.6393
A3B4	2	476	58.8125	34.7547
A3B4	3	467	57.2813	34.6345
Rata-rata		480	57.2813	34.6762

Keterangan :

A 1 = 5 kg/cn.<sup>2</sup>A 2 = 8 kg/cn.<sup>2</sup>A 3 = 11 kg/cn.<sup>2</sup>

B 1 = 40 ° C

B 2 = 60 ° C

B 3 = 80 ° C

B 4 = 100 ° C

UNTUK

KEDJAJAAN

BANGSA



## Lampiran 5. Dokumentasi Penelitian



Gambar 1. Penjemuran Sampel Batang Kelapa Sawit Sebelum di Kompregnasi



Gambar 2 . Sampel Siap Untuk Di Kompregnasi





Gambar 3. Alat Kontrol Tekanan pada Kompregnasi



Gambar 4. Proses Memasukan Resin Phenol Formaldehida





Gambar 5. Sampel Akan Dimasukkan ke Alat Kompregnasi



Gambar 6. Proses Kompregnasi Sedang Berlangsung





Gambar 5. Sampel Sebelum dan Setelah Dikompregnasi



Gambar 8. Penjemuran Sampel Setelah Dikompregnasi





Gambar 9. Uji Tahan Tegak Lurus Serat



Gambar 10. Uji Lentur Statis (MOR)





Gambar 11. Hasil Uji Lentur Statis (MOR)



Gambar 12. Uji Keuletan



## Lampiran 6. Analisis Uji Statistik

### 1. Kadar Air

#### Between-Subjects Factors

		Value Label	N
Suhu	1	40	9
	2	60	9
	3	80	9
	4	100	9
Tekanan	1	5	12
	2	8	12
	3	11	12

#### Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: Observasi

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Model	4464,086(a)	12	372,007	1646,251	,000
Suhu	5,220	3	1,740	7,700	,001
Tekanan	7,677	2	3,839	16,987	,000
Suhu * Tekanan	2,997	6	,499	2,210	,077
Error	5,423	24	,226		
Total	4469,512	36			

a. R Squared = ,999 (Adjusted R Squared = ,998)

#### Suhu \* Tekanan

Dependent Variable: Observasi

Suhu	Tekanan	Mean	Std. Error	95% Confidence Interval	
				Lower Bound	Upper Bound
40	5	11,573	,274	11,006	12,139
	8	11,122	,274	10,556	11,688
	11	11,513	,274	10,946	12,079
60	5	12,080	,274	11,513	12,646
	8	11,419	,274	10,852	11,985
	11	10,860	,274	10,293	11,426
80	5	11,768	,274	11,201	12,334
	8	11,142	,274	10,576	11,709
	11	10,427	,274	9,860	10,993
100	5	11,404	,274	10,838	11,971
	8	10,568	,274	10,002	11,135
	11	9,515	,274	8,949	10,081

### Lampiran 6. Lanjutan

#### Post Hoc Tests ( selang kepercayaan 95 %)

#### Multiple Comparisons

Dependent Variable: Observasi

	(I) Suhu	(J) Suhu	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
						Lower Bound	Upper Bound
LSD	40	60	-,050278	,2240895	,924	-,512776	,412220
		80	,290189	,2240895	,208	-,172309	,752887
		100	,906589*	,2240895	,000	,444091	1,365087
	60	40	,050278	,2240895	,824	-,412220	,512776
		80	,340467	,2240895	,142	-,122031	,802965
		100	,956867*	,2240895	,000	,494369	1,419395
	80	40	-,290189	,2240895	,208	-,752687	,172309
		60	-,340467	,2240895	,142	-,802965	,122031
		100	,616400*	,2240895	,011	,153902	1,078898
	100	40	-,906589*	,2240895	,000	-1,369087	-,444091
		60	-,956867*	,2240895	,000	-1,419365	-,494369
		80	-,616400*	,2240895	,011	-1,078898	-,153902

Based on observed means.

\*. The mean difference is significant at the ,05 level.

#### Observasi

	Suhu	N	Subset	
			1	2
Duncan <sup>a,b</sup>	100	9	10,495833	
	80	9		11,112233
	40	9		11,402422
	60	9		11,452700
	Sig.		1,000	,163

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on Type III Sum of Squares

The error term is Mean Square(Error) = ,226.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 9,000.

b. Alpha = ,05.

#### Multiple Comparisons

Dependent Variable: Observasi

	(I) Tekanan	(J) Tekanan	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
						Lower Bound	Upper Bound
LSD	5	8	,643167*	,1940672	,003	,242632	1,043702
		11	1,127442*	,1940672	,000	,726907	1,527977
	8	5	-,643167*	,1940672	,003	-1,043702	-,242632
		11	,484275*	,1940672	,020	,083740	,884810
	11	5	-1,127442*	,1940672	,000	-1,527977	-,726907
		8	-,484275*	,1940672	,020	-,884810	-,083740

Based on observed means.

\*. The mean difference is significant at the ,05 level.



## Lampiran 6. Lanjutan

## Observasi

Tekanan	N	Subset		
		1	2	3
Duncan <sup>a,b</sup> 11	12	10,578558		
8	12		11,062833	
5	12			11,706000
Sig.		1,000	1,000	1,000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on Type III Sum of Squares

The error term is Mean Square(Error) = ,226.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 12,000.

b. Alpha = ,05.

## Post Hoc Tests (selang kepercayaan 99 %)

## Multiple Comparisons

Dependent Variable: Observasi

	(I) Suhu	(J) Suhu	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	99% Confidence Interval	
						Lower Bound	Upper Bound
LSD	40	60	-,050278	,2240895	,824	-,677043	,576487
		80	,290189	,2240895	,208	-,336576	,916954
		100	,906589*	,2240895	,000	,279824	1,533354
	60	40	-,050278	,2240895	,824	-,576487	,677043
		80	,340467	,2240895	,142	-,286298	,967231
		100	,956867*	,2240895	,000	,330102	1,583631
	80	40	-,290189	,2240895	,208	-,916954	,336576
		60	-,340467	,2240895	,142	-,967231	,286298
		100	,616400	,2240895	,011	-,010365	1,243165
	100	40	-,906589*	,2240895	,000	-1,533354	-,279824
		60	-,956867*	,2240895	,000	-1,583631	-,330102
		80	-,616400	,2240895	,011	-1,243165	,010365

Based on observed means.

\*. The mean difference is significant at the ,01 level.

## Homogeneous Subsets

## Observasi

Suhu	N	Subset	
		1	2
Duncan <sup>a,b</sup> 100	9	10,495833	
80	9	11,112233	11,112233
40	9		11,402422
60	9		11,452700
Sig.		,011	,163

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on Type III Sum of Squares

The error term is Mean Square(Error) = ,226.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 9,000.

b. Alpha = ,01.

## Lampiran 6. Lanjutan

## Multiple Comparisons

Dependent Variable: Observasi

		Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	99% Confidence Interval	
(I) Tekanan	(J) Tekanan				Lower Bound	Upper Bound
LSD	5					
	8	,643167*	,1940672	,003	,100372	1,185961
	11	1,127442*	,1940672	,000	,584647	1,670236
	8					
	5	-,643167*	,1940672	,003	-1,185961	-,100372
	11	,484275	,1940672	,020	-,058519	1,027069
	11					
	5	-1,127442*	,1940672	,000	-1,670236	-,584647
	8	-,484275	,1940672	,020	-1,027069	,058519

Based on observed means.

\*. The mean difference is significant at the ,01 level.

## Homogeneous Subsets

## Observasi

Tekanan	N	Subset	
		1	2
Duncan <sup>a,b</sup> 11	12	10,578558	
8	12	11,062833	
5	12		11,706000
Sig.		,020	1,000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on Type III Sum of Squares

The error term is Mean Square(Error) = ,226.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 12,000.

b. Alpha = ,01.

## 2. Berat Jenis

## Between-Subjects Factors

		Value Label	N
Suhu	1	40	9
	2	60	9
	3	80	9
	4	100	9
Tekanan	1	5	12
	2	8	12
	3	11	12



## Lampiran 6. Lanjutan

## Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: Observasi					
Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Model	10,404 <sup>a</sup>	12	,867	715,081	,000
Suhu	,007	3	,002	1,880	,160
Tekanan	,025	2	,012	10,176	,001
Suhu * Tekanan	,005	6	,001	,708	,647
Error	,029	24	,001		
Total	10,433	36			

a. R Squared = ,997 (Adjusted R Squared = ,996)

Suhu * Tekanan					
Dependent Variable: Observasi					
Suhu	Tekanan	Mean	Std. Error	95% Confidence Interval	
40	5	,500	,020	,459	,542
	8	,523	,020	,481	,564
	11	,545	,020	,503	,586
60	5	,507	,020	,466	,549
	8	,536	,020	,495	,578
	11	,570	,020	,529	,612
80	5	,516	,020	,475	,558
	8	,538	,020	,497	,579
	11	,621	,020	,580	,663
100	5	,507	,020	,466	,549
	8	,527	,020	,485	,568
	11	,549	,020	,507	,590

## Post Hoc Tests (selang kepercayaan 95 %)

## Multiple Comparisons

Dependent Variable: Observasi							
(I) Suhu (J) Suhu			Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
			(-J)			Lower Bound	Upper Bound
LSD	40	60	-,015344	,0164147	,359	-,049223	,018534
		80	-,035678*	,0164147	,039	-,069756	-,002000
		100	-,004878	,0164147	,769	-,038756	,029000
	60	40	,016344	,0164147	,359	-,018534	,049223
		80	-,020533	,0164147	,223	-,054412	,013345
		100	,010467	,0164147	,530	-,023412	,044345
	80	40	,035678*	,0164147	,039	,002000	,069756
		60	,020533	,0164147	,223	-,013345	,054412
		100	,031000	,0164147	,071	-,002878	,064878
	100	40	,004878	,0164147	,769	-,029000	,038756
		60	-,010467	,0164147	,530	-,044345	,023412
		80	-,031000	,0164147	,071	-,064878	,002878

Based on observed means.

\*. The mean difference is significant at the ,05 level.

## Lampiran 6. Lanjutan

## Observasi

	Suhu	N	Subset
			1
Duncan <sup>a,b</sup>	40	9	,522622
	100	9	,527500
	60	9	,537967
	80	9	,558500
	Sig.		,055

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on Type III Sum of Squares

The error term is Mean Square(Error) = ,001.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 9,000.

b. Alpha = ,05.

## Multiple Comparisons

Dependent Variable: Observasi

	(I) Tekanan	(J) Tekanan	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
						Lower Bound	Upper Bound
LSD	5	8	-,023042	,0142155	,118	-,052381	,006298
		11	-,063350*	,0142155	,000	-,092689	-,034011
	8	5	,023042	,0142155	,118	-,006298	,052381
		11	-,040308*	,0142155	,009	-,069648	-,010969
	11	5	,063350*	,0142155	,000	,034011	,092689
		8	,040308*	,0142155	,009	,010969	,069648

Based on observed means.

\*. The mean difference is significant at the ,05 level.

## Observasi

	Tekanan	N	Subset	
			1	2
Duncan <sup>a,b</sup>	5	12	,507850	
	8	12	,530892	
	11	12		,571200
	Sig.		,118	1,000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on Type III Sum of Squares

The error term is Mean Square(Error) = ,001.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 12,000.

b. Alpha = ,05.



**Lampiran 6. Lanjutan**  
**Post Hoc Tests (selang kepercayaan 99 %)**

**Multiple Comparisons**

Dependent Variable: Observasi

	(I) Suhu	(J) Suhu	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	99% Confidence Interval	
						Lower Bound	Upper Bound
LSD	40	60	-,015344	,0164147	,359	-,061255	,030566
		80	-,035878	,0164147	,039	-,061789	,010033
		100	-,004878	,0164147	,769	-,050789	,041033
	60	40	,015344	,0164147	,359	-,030566	,061255
		80	-,020533	,0164147	,223	-,066444	,025378
		100	,010467	,0164147	,530	-,035444	,056378
	80	40	,035878	,0164147	,039	-,010033	,081789
		60	,020533	,0164147	,223	-,025378	,066444
		100	,031000	,0164147	,071	-,014911	,076911
	100	40	,004878	,0164147	,769	-,041033	,050789
		60	-,010467	,0154147	,530	-,056378	,035444
		80	-,031000	,0164147	,071	-,076911	,014911

Based on observed means.

**Observasi**

	Suhu	N	Subset
			1
Duncan <sup>a,b</sup>	40	9	,522622
	100	9	,527500
	60	9	,537967
	80	9	,558500
	Sig.		,055

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on Type III Sum of Squares

The error term is Mean Square(Error) = ,001.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 9,000.

b. Alpha = ,01.

UNTUK KEDJAJAAN BANGSA

Lampiran 6. Lanjutan

Multiple Comparisons

Dependent Variable: Observasi

		Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	99% Confidence Interval		
(I) Tekanan	(J) Tekanan				Lower Bound	Upper Bound	
LSD	5	8	-,023042	,0142155	,118	-,062802	,016718
		11	-,063350*	,0142155	,000	-,103110	-,023590
	8	5	,023042	,0142155	,118	-,016718	,062802
		11	-,040308*	,0142155	,009	-,080068	-,000548
	11	5	,063350*	,0142155	,000	,023590	,103110
		8	,040308*	,0142155	,009	,000548	,080068

Based on observed means.

\*. The mean difference is significant at the ,01 level.

Observasi

		N	Subset	
Tekanan			1	2
Duncan <sup>a,b</sup>	5	12	,507850	
	6	12	,530892	
	11	12		,571200
	Sig.		,118	1,000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on Type III Sum of Squares

The error term is Mean Square(Error) = ,001.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 12,000.

b. Alpha = ,01.

3. Penambahan Berat

Between-Subjects Factors

		Value Label	N
Suhu	1	40	9
	2	60	9
	3	80	9
	4	100	9
Tekanan	1	5	12
	2	8	12
	3	11	12



## Lampiran 6. Lanjutan

## Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: Observasi

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Model	30849,666 <sup>a</sup>	12	2570,806	2153,090	,000
Suhu	86,260	3	28,753	24,081	,000
Tekanan	1368,410	2	684,205	573,033	,000
Suhu * Tekanan	12,266	6	2,044	1,712	,161
Error	28,656	24	1,194		
Total	30878,322	36			

a. R Squared = ,999 (Adjusted R Squared = ,999)

Suhu \* Tekanan

Dependent Variable: Observasi

Suhu	Tekanan	Mean	Std. Error	95% Confidence Interval	
				Lower Bound	Upper Bound
40	5	20,520	,631	19,218	21,822
	8	25,971	,631	24,669	27,273
	11	34,989	,631	33,687	36,291
60	5	20,406	,631	19,104	21,708
	8	26,207	,631	24,905	27,509
	11	35,634	,631	34,332	36,936
80	5	22,369	,631	21,066	23,671
	8	27,046	,631	25,744	28,348
	11	36,470	,631	35,168	37,772
100	5	22,851	,631	21,549	24,153
	8	31,262	,631	29,960	32,564
	11	39,103	,631	37,801	40,405

## Post Hoc Tests (selang kepercayaan 95 %)

## Multiple Comparisons

Dependent Variable: Observasi

	(I) Suhu	(J) Suhu	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
						Lower Bound	Upper Bound
LSD	40	60	-.255467	,5151067	,624	-1,318595	,807661
		80	-1,468356*	,5151067	,009	-2,531484	-,405228
		100	-3,911989*	,5151067	,000	-4,975117	-2,848861
	60	40	,255467	,5151067	,624	-,807661	1,318595
		80	-1,212889*	,5151067	,027	-2,276017	-,149761
		100	-3,656522*	,5151067	,000	-4,719650	-2,593394
	80	40	1,468356*	,5151067	,009	,405228	2,531484
		60	1,212889*	,5151067	,027	,149761	2,276017
		100	-2,443633*	,5151067	,000	-3,506761	-1,380505
	100	40	3,911989*	,5151067	,000	2,848861	4,975117
		60	3,656522*	,5151067	,000	2,593394	4,719650
		80	2,443633*	,5151067	,000	1,380505	3,506761

Based on observed means.

\*. The mean difference is significant at the ,05 level.

## Lampiran 6. Lanjutan

Observasi

Suhu	N	Subset		
		1	2	3
Duncan <sup>a,b</sup> 40	9	27,160033		
60	9	27,415500		
80	9		28,628389	
100	9			31,072022
Sig.		,624	1,000	1,000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on Type III Sum of Squares

The error term is Mean Square(Error) = 1,194.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 9,000.

b. Alpha = ,05.

Multiple Comparisons

Dependent Variable: Observasi

	(I) Tekanan	(J) Tekanan	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
						Lower Bound	Upper Bound
LSD	5	8	-6,085300*	,4460955	,000	-7,005996	-5,164604
		11	-15,012533*	,4460955	,000	-15,933229	-14,091837
	8	5	6,085300*	,4460955	,000	5,164604	7,005996
		11	-8,927233*	,4460955	,000	-9,847929	-8,006537
	11	5	15,012533*	,4460955	,000	14,091837	15,933229
		8	8,927233*	,4460955	,000	8,006537	9,847929

Based on observed means.

\*. The mean difference is significant at the ,05 level.

Observasi

Tekanan	N	Subset		
		1	2	3
Duncan <sup>a,b</sup> 5	12	21,536375		
8	12		27,621675	
11	12			36,548908
Sig.		1,000	1,000	1,000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on Type III Sum of Squares

The error term is Mean Square(Error) = 1,194.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 12,000.

b. Alpha = ,05.



## Lampiran 6. Lanjutan

### Post Hoc Tests (selang kepercayaan 99 %)

#### Multiple Comparisons

Dependent Variable: Observasi

	(I) Suhu	(J) Suhu	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	99% Confidence Interval	
						Lower Bound	Upper Bound
LSD	40	60	-,255467	,5151067	,624	-1,696189	1,185256
		80	-1,468356*	,5151067	,009	-2,909078	-,027633
		100	-3,911989*	,5151067	,000	-5,352711	-2,471267
	60	40	,255467	,5151067	,624	-1,185256	1,696189
		80	-1,212889	,5151067	,027	-2,653611	,227833
		100	-3,656522*	,5151067	,000	-5,097245	-2,215800
	80	40	1,468356*	,5151067	,009	-,027633	2,909078
		60	1,212889	,5151067	,027	-,227833	2,653611
		100	-2,443633*	,5151067	,000	-3,884356	-1,002911
	100	40	3,911989*	,5151067	,000	2,471267	5,352711
		60	3,656522*	,5151067	,000	2,215800	5,097245
		80	2,443633*	,5151067	,000	1,002911	3,884356

Based on observed means.

\*. The mean difference is significant at the ,01 level.

#### Observasi

	Suhu	N	Subset	
			1	2
Duncan <sup>a,b</sup>	40	9	27,160033	
	60	9	27,415500	
	80	9	26,628389	
	100	9		31,072022
	Sig.		,012	1,000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.  
Based on Type III Sum of Squares

The error term is Mean Square(Error) = 1,194.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 9,000.

b. Alpha = ,01.

#### Multiple Comparisons

Dependent Variable: Observasi

	(I) Tekanan	(J) Tekanan	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	99% Confidence Interval	
						Lower Bound	Upper Bound
LSD	5	8	-6,085300*	,4460955	,000	-7,333002	-4,837598
		11	-15,012533*	,4460955	,000	-16,260235	-13,764831
	8	5	6,085300*	,4460955	,000	4,837598	7,333002
		11	-8,927233*	,4460955	,000	-10,174935	-7,679531
	11	5	15,012533*	,4460955	,000	13,764831	16,260235
		8	8,927233*	,4460955	,000	7,679531	10,174935

Based on observed means.

\*. The mean difference is significant at the ,01 level.

## Lampiran 6. Lanjutan

### Observasi

Tekanan	N	Subset		
		1	2	3
Duncan <sup>a,b</sup> 5	12	21,536375		
8	12		27,621675	
11	12			36,548908
Sig.		1,000	1,000	1,000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on Type III Sum of Squares

The error term is Mean Square(Error) = 1,194.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 12,000.

b. Alpha = ,01.

## 4. Penyusutan

### Between-Subjects Factors

		Value Label	N
Suhu	1	40	9
	2	60	9
	3	80	9
	4	100	9
Tekanan	1	5	12
	2	8	12
	3	11	12

### Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: Observasi

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Model	1799,535 <sup>a</sup>	12	149,961	4101,331	,000
Suhu	,957	3	,319	8,726	,000
Tekanan	11,335	2	5,667	154,999	,000
Suhu * Tekanan	1,280	6	,213	5,836	,001
Error	,878	24	,037		
Total	1800,412	36			

a. R Squared = 1,000 (Adjusted R Squared = ,999)



## Lampiran 6. Lanjutan

### Suhu \* Tekanan

Dependent Variable: Observasi

Suhu	Tekanan	Mean	Std. Error	95% Confidence Interval	
				Lower Bound	Upper Bound
40	5	6,237	,110	6,009	6,465
	8	6,889	,110	6,661	7,117
	11	7,789	,110	7,561	8,017
60	5	6,706	,110	6,478	6,934
	8	6,974	,110	6,746	7,201
	11	7,795	,110	7,568	8,023
80	5	6,915	,110	6,687	7,143
	8	6,696	,110	6,468	6,924
	11	8,080	,110	7,852	8,308
100	5	5,974	,110	5,747	6,202
	8	6,929	,110	6,701	7,157
	11	7,536	,110	7,309	7,764

## Post Hoc Tests (selang kepercayaan 95 %)

### Multiple Comparisons

Dependent Variable: Observasi

	(I) Suhu	(J) Suhu	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
						Lower Bound	Upper Bound
LSD	40	60	-,186756*	,0901407	,049	-,372797	-,000714
		80	-,258767*	,0901407	,008	-,444808	-,072725
		100	,158467	,0901407	,081	-,027575	,344508
	60	40	,186756*	,0901407	,049	,000714	,372797
		80	-,072011	,0901407	,432	-,258052	,114030
		100	,345222*	,0901407	,001	,159181	,531263
	80	40	,258767*	,0901407	,008	,072725	,444808
		60	,072011	,0901407	,432	-,114030	,258052
		100	,417233*	,0901407	,000	,231192	,603275
	100	40	-,158467	,0901407	,091	-,344508	,027575
		60	-,345222*	,0901407	,001	-,531263	-,159181
		80	-,417233*	,0901407	,000	-,603275	-,231192

Based on observed means.

\*. The mean difference is significant at the ,05 level.

## Lampiran 6. Lanjutan

## Observasi

Suhu	N	Subset	
		1	2
Duncan <sup>a,b</sup> 100	9	6,813211	
40	9	6,971678	
60	9		7,158433
80	9		7,230444
Sig.		,091	,432

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on Type III Sum of Squares

The error term is Mean Square(Error) = ,037.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 9,000.

b. Alpha = ,05.

## Multiple Comparisons

Dependent Variable: Observasi

	(I) Tekanan	(J) Tekanan	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
						Lower Bound	Upper Bound
LSD	5	8	-,413750*	,0780641	,000	-,574866	-,252634
		11	-1,341975*	,0780641	,000	-1,503091	-1,180859
	8	5	,413750*	,0780641	,000	,252634	,574866
		11	-,928225*	,0780641	,000	-1,089341	-,767109
	11	5	1,341975*	,0780641	,000	1,180859	1,503091
		8	,928225*	,0780641	,000	,767109	1,089341

Based on observed means.

\*. The mean difference is significant at the ,05 level.

## Observasi

Tekanan	N	Subset		
		1	2	3
Duncan <sup>a,b</sup> 5	12	6,458200		
8	12		6,871950	
11	12			7,800175
Sig.		1,000	1,000	1,000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on Type III Sum of Squares

The error term is Mean Square(Error) = ,037.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 12,000.

b. Alpha = ,05.



### Lampiran 6. Lanjutan

#### Post Hoc Tests (selang kepercayaan 99 %)

#### Multiple Comparisons

Dependent Variable: Observasi

	(I) Suhu	(J) Suhu	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	99% Confidence Interval	
						Lower Bound	Upper Bound
LSD	40	60	-,186756*	,0566779	,003	-,345280	-,028231
		80	-,369878*	,0566779	,000	-,528402	-,211353
		100	,158467	,0566779	,010	-,000058	,315991
	60	40	,186756*	,0566779	,003	,028231	,345280
		80	,183122*	,0566779	,004	-,341647	-,024598
		100	,345222*	,0566779	,000	,186698	,503747
	80	40	,369878*	,0566779	,000	,211353	,528402
		60	,183122*	,0566779	,004	,024598	,341647
		100	,528344*	,0566779	,000	,369820	,686869
	100	40	-,158467	,0566779	,010	-,316991	,000058
		60	-,345222*	,0566779	,000	-,503747	-,186698
		80	-,528344*	,0566779	,000	-,686869	-,369820

Based on observed means.

\*. The mean difference is significant at the ,01 level.

#### Observasi

Suhu	N	Subset		
		1	2	3
Duncan <sup>a, b</sup> 100	9	6,813211		
40	9	6,971678		
60	9		7,158433	
80	9			7,341556
Sig.		,010	1,000	1,000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on Type III Sum of Squares

The error term is Mean Square(Error) = ,014.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 9,000.

b. Alpha = ,01.

UNTUK KEDJAJAAN BANGSA

## Lampiran 6. Lanjutan

### Multiple Comparisons

Dependent Variable: Observasi

	(I) Tekanan	(J) Tekanan	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	99% Confidence Interval	
						Lower Bound	Upper Bound
LSD	5	8	-,497083*	,0490845	,000	-,634370	-,359797
		11	-1,341975*	,0490845	,000	-1,479261	-1,204689
	8	5	,497083*	,0490845	,000	,359797	,634370
		11	-,844892*	,0490845	,000	-,982178	-,707605
	11	5	1,341975*	,0490845	,000	1,204689	1,479261
		8	,844892*	,0490845	,000	,707605	,982178

Based on observed means.

\*. The mean difference is significant at the ,01 level.

### Observasi

Tekanan	N	Subset		
		1	2	3
Duncan <sup>a,b</sup> 5	12	6,458200		
8	12		6,955283	
11	12			7,800175
Sig		1,000	1,000	1,000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on Type III Sum of Squares

The error term is Mean Square(Error) = ,014.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 12,000.

b. Alpha = ,01.

## 5. Modulus Patah (MOR)

### Between-Subjects Factors

		Value Label	N
Suhu	1	40	9
	2	60	9
	3	80	9
	4	100	9
Tekanan	1	5	12
	2	8	12
	3	11	12



## Lampiran 6. Lanjutan

## Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: Observasi

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Model	6720213,000 <sup>a</sup>	12	560017,750	1964,975	,000
Suhu	58736,083	3	19578,694	68,697	,000
Tekanan	65544,056	2	32772,028	114,990	,000
Suhu * Tekanan	17562,833	6	2927,139	10,271	,000
Error	6840,000	24	285,000		
Total	6727053,000	36			

a. R Squared = ,999 (Adjusted R Squared = ,998)

## Suhu \* Tekanan

Dependent Variable: Observasi

Suhu	Tekanan	Mean	Std. Error	95% Confidence interval	
				Lower Bound	Upper Bound
40	5	337,000	9,747	316,884	357,116
	8	341,333	9,747	321,217	361,450
	11	460,000	9,747	439,884	480,116
60	5	345,667	9,747	325,550	365,783
	8	426,333	9,747	406,217	446,450
	11	486,667	9,747	466,550	506,783
80	5	473,000	9,747	452,884	493,116
	8	478,667	9,747	458,550	498,783
	11	522,667	9,747	502,550	542,783
100	5	410,333	9,747	390,217	430,450
	8	367,667	9,747	347,550	387,783
	11	480,333	9,747	460,217	500,450

## Post Hoc Tests (selang kepercayaan 95 %)

## Multiple Comparisons

Dependent Variable: Observasi

	(I) Suhu	(J) Suhu	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
						Lower Bound	Upper Bound
LSD	40	60	-40,11*	7,958	,000	-56,54	-23,69
		80	-112,00*	7,958	,000	-128,42	-95,58
		100	-40,00*	7,958	,000	-56,42	-23,58
	60	40	40,11*	7,958	,000	23,69	56,54
		80	-71,89*	7,958	,000	-88,31	-55,46
		100	,11	7,958	,989	-16,31	16,54
	80	40	112,00*	7,958	,000	95,58	128,42
		60	71,89*	7,958	,000	55,46	88,31
		100	72,00*	7,958	,000	55,58	88,42
	100	40	40,00*	7,958	,000	23,58	56,42
		60	-,11	7,958	,989	-16,54	16,31
		80	-72,00*	7,958	,000	-88,42	-55,58

Based on observed means.

\*. The mean difference is significant at the ,05 level.

## Lampiran 6. Lanjutan

## Observasi

Suhu	N	Subset		
		1	2	3
Duncan <sup>a,b</sup> 40	9	379,44		
100	9		419,44	
60	9		419,56	
80	9			491,44
Sig.		1,000	,989	1,000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on Type III Sum of Squares

The error term is Mean Square(Error) = 285,000.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 9,000.

b. Alpha = ,05.

## Multiple Comparisons

Dependent Variable: Observasi

	(I) Tekanan	(J) Tekanan	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
						Lower Bound	Upper Bound
LSD	5	8	-12,00	6,892	,094	-26,22	2,22
		11	-95,92*	6,892	,000	-110,14	-81,69
	8	5	12,00	6,892	,094	-2,22	26,22
		11	-83,92*	6,892	,000	-98,14	-69,69
	11	5	95,92*	6,892	,000	81,69	110,14
		8	83,92*	6,892	,000	69,69	98,14

Based on observed means.

\*. The mean difference is significant at the ,05 level.

## Observasi

Tekanan	N	Subset	
		1	2
Duncan <sup>a,b</sup> 5	12	391,50	
8	12	403,50	
11	12		487,42
Sig.		,094	1,000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on Type III Sum of Squares

The error term is Mean Square(Error) = 285,000.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 12,000.

b. Alpha = ,05.



## Lampiran 6. Lanjutan

### Post Hoc Tests (selang kepercayaan 99 %)

#### Multiple Comparisons

Dependent Variable: Observasi

	(I) Suhu	(J) Suhu	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	99% Confidence Interval	
						Lower Bound	Upper Bound
LSD	40	60	-40,11*	7,958	,000	-62,37	-17,85
		80	-112,00*	7,958	,000	-134,26	-89,74
		100	-40,00*	7,958	,000	-62,26	-17,74
	60	40	40,11*	7,958	,000	17,85	62,37
		80	-71,89*	7,958	,000	-94,15	-49,63
		100	,11	7,958	,989	-22,15	22,37
	80	40	112,00*	7,958	,000	89,74	134,26
		60	71,89*	7,958	,000	49,63	94,15
		100	72,00*	7,958	,000	49,74	94,26
	100	40	40,00*	7,958	,000	17,74	62,26
		60	-,11	7,958	,989	-22,37	22,15
		80	-72,00*	7,958	,000	-94,26	-49,74

Based on observed means.

\*. The mean difference is significant at the ,01 level.

#### Observasi

Suhu	N	Subset		
		1	2	3
Duncan <sup>a,b</sup> 40	9	379,44		
100	9		419,44	
60	9		419,56	
80	9			491,44
Sig.		1,000	,989	1,000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on Type III Sum of Squares

The error term is Mean Square(Error) = 285,000.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 9,000.

b. Alpha = ,01.

#### Multiple Comparisons

Dependent Variable: Observasi

	(I) Tekanan	(J) Tekanan	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	99% Confidence Interval	
						Lower Bound	Upper Bound
LSD	5	8	-12,00	6,892	,094	-31,28	7,28
		11	-95,92*	6,892	,000	-115,19	-76,64
	8	5	12,00	6,892	,094	-7,28	31,28
		11	-83,92*	6,892	,000	-103,19	-64,64
	11	5	95,92*	6,892	,000	76,64	115,19
		8	83,92*	6,892	,000	64,64	103,19

Based on observed means.

\*. The mean difference is significant at the ,01 level.

## Lampiran 6. Lanjutan

### Observasi

Tekanan	N	Subset	
		1	2
Duncan <sup>a,b</sup> 5	12	391,50	487,42
8	12	403,50	
11	12		
Sig.		,094	1,000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on Type III Sum of Squares

The error term is Mean Square(Error) = 285,000.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 12,000.

b. Alpha = ,01.

## 6. Kekerasan

### Between-Subjects Factors

		Value Label	N
Suhu	1	40	9
	2	60	9
	3	80	9
	4	100	9
Tekanan	1	5	12
	2	8	12
	3	11	12

### Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: Observasi

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Model	127145,090 <sup>a</sup>	12	10595,424	195,306	,000
Suhu	2678,594	3	892,865	16,458	,000
Tekanan	476,702	2	238,351	4,394	,024
Suhu * Tekanan	129,590	6	21,598	,398	,873
Error	1302,011	24	54,250		
Total	128447,101	36			

a. R Squared = ,990 (Adjusted R Squared = ,985)



## Lampiran 6. Lanjutan

## Suhu \* Tekanan

Dependent Variable: Observasi

Suhu	Tekanan	Mean	Std. Error	95% Confidence Interval	
				Lower Bound	Upper Bound
40	5	43,095	4,252	34,319	51,872
	8	43,834	4,252	35,057	52,610
	11	54,187	4,252	45,411	62,964
60	5	57,630	4,252	48,853	66,407
	8	66,813	4,252	58,036	75,589
	11	66,923	4,252	58,146	75,699
80	5	66,489	4,252	57,712	75,266
	8	68,769	4,252	59,992	77,545
	11	73,216	4,252	64,440	81,993
100	5	48,845	4,252	40,068	57,621
	8	56,794	4,252	48,017	65,570
	11	57,281	4,252	48,505	66,058

## Post Hoc Tests (selang kepercayaan 95 %)

## Multiple Comparisons

Dependent Variable: Observasi

	(I) Suhu	(J) Suhu	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
						Lower Bound	Upper Bound
LSD	40	60	-16,749467*	3,4721261	,000	-23,915583	-9,583351
		80	-22,452522*	3,4721261	,000	-29,618638	-15,286406
		100	-7,267733*	3,4721261	,047	-14,433849	,101617
	60	40	16,749467*	3,4721261	,000	9,583351	23,915583
		80	-5,703056	3,4721261	,114	-12,869172	1,463060
		100	9,481733*	3,4721261	,012	2,315617	16,647849
	80	40	22,452522*	3,4721261	,000	15,286406	29,618638
		60	5,703056	3,4721261	,114	-1,463060	12,869172
		100	15,184789*	3,4721261	,000	8,018673	22,350905
	100	40	7,267733*	3,4721261	,047	,101617	14,433849
		60	-9,481733*	3,4721261	,012	-16,647849	-2,315617
		80	-15,184789*	3,4721261	,000	-22,350905	-8,018673

Based on observed means.

\*. The mean difference is significant at the ,05 level.

UNTUK KEDJAJAAN BANGSA

## Lampiran 6. Lanjutan

Observasi

Suhu	N	Subset		
		1	2	3
Duncan <sup>a,b</sup> 40	9	47,038867		
100	9		54,306600	
60	9			63,788333
80	9			69,491389
Sig.		1,000	1,000	,114

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on Type III Sum of Squares

The error term is Mean Square(Error) = 54,250.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 9,000.

b. Alpha = ,05.

## Multiple Comparisons

Dependent Variable: Observasi

	(I) Tekanan	(J) Tekanan	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
						Lower Bound	Upper Bound
LSD	5	8	-5,037392	3,0069494	,107	-11,243430	1,168647
		11	-8,887075*	3,0069494	,007	-15,093114	-2,681036
	8	5	5,037392	3,0069494	,107	-1,168647	11,243430
		11	-3,849683	3,0069494	,213	-10,055722	2,356355
	11	5	8,887075*	3,0069494	,007	2,681036	15,093114
		8	3,849683	3,0069494	,213	-2,356355	10,055722

Based on observed means.

\*. The mean difference is significant at the ,05 level.

Observasi

Tekanan	N	Subset	
		1	2
Duncan <sup>a,b</sup> 5	12	54,014808	
8	12	59,052200	59,052200
11	12		62,901883
Sig.		,107	,213

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on Type III Sum of Squares

The error term is Mean Square(Error) = 54,250.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 12,000.

b. Alpha = ,05.



**Lampiran 6. Lanjutan**  
**Post Hoc Tests (selang kepercayaan 99 %)**

**Multiple Comparisons**

Dependent Variable: Observasi

	(i) Suhu	(j) Suhu	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	99% Confidence Interval	
						Lower Bound	Upper Bound
LSD	40	60	-16,749467*	3,4721261	,000	-26,460793	-7,038140
		80	-22,452522*	3,4721261	,000	-32,163849	-12,741196
		100	-7,267733	3,4721261	,047	-16,979060	2,443593
	60	40	16,749467*	3,4721261	,000	7,038140	26,460793
		80	-5,703056	3,4721261	,114	-15,414382	4,008271
		100	9,481733	3,4721261	,012	-,229593	19,193060
	80	40	22,452522*	3,4721261	,000	12,741196	32,163849
		60	5,703056	3,4721261	,114	-4,008271	15,414382
		100	15,184789*	3,4721261	,000	5,473462	24,896115
	100	40	7,267733	3,4721261	,047	-2,443593	16,979060
		60	-9,481733	3,4721261	,012	-19,193060	,229593
		80	-15,184789*	3,4721261	,000	-24,896115	-5,473462

Based on observed means.

\*. The mean difference is significant at the ,01 level.

**Observasi**

Suhu	N	Subset		
		1	2	3
Duncan <sup>a,b</sup> 40	9	47,038867		
100	9	54,306600	54,306600	
60	9		63,788333	63,788333
80	9			69,491389
Sig.		,047	,012	,114

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on Type III Sum of Squares

The error term is Mean Square(Error) = 54,250.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 9,000.

b. Alpha = ,01.

UNTUK KEDJAJAAN BANGSA

## Lampiran 6. Lanjutan

### Multiple Comparisons

Dependent Variable: Observasi

	(I) Tekanan	(J) Tekanan	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	99% Confidence Interval	
						Lower Bound	Upper Bound
LSD	5	8	-5,037392	3,0069494	,107	-13,447647	3,372864
		11	-8,887075*	3,0069494	,007	-17,297331	-,476819
	8	5	5,037392	3,0069494	,107	-3,372864	13,447647
		11	-3,849683	3,0069494	,213	-12,259939	4,560572
	11	5	8,887075*	3,0069494	,007	,476819	17,297331
		8	3,849683	3,0069494	,213	-4,560572	12,259939

Based on observed means.

\*. The mean difference is significant at the ,01 level.

### Observasi

Tekanan	N	Subset	
		1	2
Duncan <sup>a,b</sup> 5	12	54,014808	
8	12	59,052200	59,052200
11	12		62,901883
Sig.		,107	,213

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on Type III Sum of Squares

The error term is Mean Square(Error) = 54,250.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 12,000.

b. Alpha = ,01.

## 7. Keuletan

### Between-Subjects Factors

		Value Label	N
Suhu	1	40	9
	2	60	9
	3	80	9
	4	100	9
Tekanan	1	5	12
	2	8	12
	3	11	12



## Lampiran 6. Lanjutan

### Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: Observasi

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Model	40732.599 <sup>a</sup>	12	3394.383	4631.382	.000
Suhu	61,814	3	20.605	28.114	.000
Tekanan	16,120	2	8,060	10.997	.000
Suhu * Tekanan	41,231	6	6,872	9.376	.000
Error	17,590	24	,733		
Total	40750,189	36			

a. R Squared = 1,000 (Adjusted R Squared = ,999)

### Suhu \* Tekanan

Dependent Variable: Observasi

Suhu	Tekanan	Mean	Std. Error	95% Confidence Interval	
				Lower Bound	Upper Bound
40	5	33,226	,494	32,206	34,246
	8	34,693	,494	33,673	35,713
	11	32,720	,494	31,700	33,740
60	5	33,530	,494	32,510	34,550
	8	34,633	,494	33,613	35,653
	11	35,183	,494	34,163	36,203
80	5	34,562	,494	33,541	35,582
	8	34,845	,494	33,825	35,865
	11	35,223	,494	34,213	36,253
100	5	29,975	,494	28,955	30,995
	8	29,780	,494	28,759	30,800
	11	34,676	,494	33,656	35,696

### Post Hoc Tests (selang kepercayaan 95 %)

#### Multiple Comparisons

Dependent Variable: Observasi

LSD	(I) Suhu	(J) Suhu	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
						Lower Bound	Upper Bound
40	60	80	-.902644 <sup>*</sup>	,4035700	,035	-1,735572	-.069717
		100	-1,333511 <sup>*</sup>	,4035700	,003	-2,166439	-.500584
		80	2,069344 <sup>*</sup>	,4035700	,000	1,236417	2,902272
60	80	100	,902644 <sup>*</sup>	,4035700	,035	,069717	1,735572
		40	-.430867	,4035700	,296	-1,263794	,402061
		100	2,971989 <sup>*</sup>	,4035700	,000	2,139061	3,804916
80	100	40	1,333511 <sup>*</sup>	,4035700	,003	,500584	2,166439
		60	,430867	,4035700	,296	-.402061	1,263794
		80	3,402856 <sup>*</sup>	,4035700	,000	2,569928	4,235783
100	40	60	-2,069344 <sup>*</sup>	,4035700	,000	-2,902272	-1,236417
		80	-2,971989 <sup>*</sup>	,4035700	,000	-3,804916	-2,139061
		60	-3,402856 <sup>*</sup>	,4035700	,000	-4,235783	-2,569928

Based on observed means.

\*. The mean difference is significant at the ,05 level.

1996  
INTELEKTUAL DAN KREATIFITAS  
BERKUALITAS DAN BERKUALITAS



BERKUALITAS DAN BERKUALITAS  
KREATIFITAS DAN KREATIFITAS  
BERKUALITAS DAN BERKUALITAS  
BERKUALITAS DAN BERKUALITAS